

# ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

ପଞ୍ଚମ ଭାଗ

ଉନ୍ନତ ପଢ଼ିତ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା

ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା

# ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

ପଞ୍ଚମ ଭାଗ

ଲେଖକ :

ଡକ୍ଟର ପତିତପାବନ ମିଶ୍ର

ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବିଭାଗ,

ସାମନ୍ତ ଚନ୍ଦ୍ରଶେଖର ମହାବିଦ୍ୟାଳୟ, ପୁରୀ

୧୯୭୩



ପ୍ରକାଶକ :

ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା

ଭୁବନେଶ୍ୱର

# **PADARTHA BIGYAN—Part V**

**( PHYSICS )**

**FOR INTERMEDIATE STUDENTS**

Published under the Scheme of Production of Books and literature in regional languages at the University level sponsored by the Government of India in the Ministry of Education and Social welfare ( Department of culture ), NEW DELHI

*Written by :*

**DR. PATITAPABANA MISHRA**

*Reader and Head of the Department of Physics*

**Samanta Chandra Sekhar College, Puri**

*First Edition – 1973*

*Published by :*

**ORISSA STATE BUREAU OF TEXT BOOK**

**Preparation & Production  
Bhubaneswar, Orissa**

**Publication No. 49.**

*Printed by :*

**D. P. Mitra,  
at the Elm Press  
63, Beadon Street, Calcutta-6.**

**Price — Rs. 5.50**

# ପ୍ରସ୍ତାବନା

ପ୍ରତ୍ୟେକ ଜାତି ବା ଦେଶର ଉନ୍ନତ ତାର ଭାଷାର ପ୍ରଗତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ମାତୃଭାଷା ମାଧ୍ୟମରେ ଶିକ୍ଷା ସହଜ ଓ ସୁଗମ ହୋଇଥାଏ ।

ଏଣୁ, ଆମ ଦେଶର ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ସ୍ତରରେ ମଧ୍ୟ ମାତୃଭାଷା ମାଧ୍ୟମ ମାନ ବୃଦ୍ଧି ଦେଇଛି । ଓଡ଼ିଆ ଭାଷାରେ ବିଭିନ୍ନ ଉନ୍ନତ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକର ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ନିମନ୍ତେ ଭାରତ ସରକାରଙ୍କ ଅନୁକୂଳରେ ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସମ୍ମୁଖୀନ କରାଯାଇଛି । ବର୍ତ୍ତମାନ ଉକ୍ତ ସମ୍ମୁଖୀନ କର୍ତ୍ତୃକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ପଞ୍ଚମ ଭାଗ ପୁସ୍ତକଟି ପ୍ରକାଶିତ ହେଲା ।

ଏହି ପୁସ୍ତକଟି ଓଡ଼ିଶାର ଇନୋଟି ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟର ନୂତନ ପାଠ୍ୟକ୍ରମ ଅନୁସାରେ ରଚିତ ହୋଇଛି । ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ଚିତ୍ରର ଡକ୍ଟର ପରିଚାଳନା ମିଶ୍ର ଏହି ପୁସ୍ତକଟିର ପ୍ରଣେତା । ଉତ୍କଳ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବିଭାଗର ମୁଖ୍ୟ ଅଧ୍ୟାପକ ଡକ୍ଟର ବିଭୁତି ଭୂଷଣ ଦେଓ ଏହାକୁ ସମୀକ୍ଷା କରିଛନ୍ତି । ଏଣୁ ଆମେ ଉତ୍ତମକୁ ସମ୍ମାନ ପକ୍ଷରୁ ଦୀର୍ଘ ଧନ୍ୟବାଦ ଜ୍ଞାପନ କରୁଛୁ ।

ପୈରିଶେଷରେ ଆମେ ଆଶାକରୁ ଯେ ପୁସ୍ତକଟି ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ଶିକ୍ଷାରେ ଓଡ଼ିଆ ଭାଷାରେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଅଧ୍ୟୟନ ଓ ଅଧ୍ୟାପନା ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ସହାୟକ ହେବ ।

ଭୁବନେଶ୍ୱର  
ଗଣେଶ ଚତୁର୍ଥୀ  
୩୧ । ୮ । ୭୩

ଶ୍ରୀନିବାସ ସାହୁ  
ନିର୍ଦ୍ଦେଶକ



## **REFERENCE BOOKS**

### **( 1 ) COLLEGE PHYSICS**

*by*

Weber, Manning, and white.

( *Fourth Edition* )

( International Student Edition )

*Publisher*

**TATA-MC GRAW HILL BOOK COMPANY.**

### **( 2 ) COLLEGE PHYSICS**

*by*

Sears and Zemansky ( *Third Edition* )

*Publisher*

**Addition-Wesly Publishiug Company, Inc.**

# ସ୍କୁଲପଢ଼ା

## ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ (Physics)

ବିଷୟ

ପୃଷ୍ଠା

### ୧ । ପ୍ରଥମ ଅଧ୍ୟାୟ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ—

1.	ସୂଚନା	...	୧
1.1	ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନୁସନ୍ଧାନର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ		୧
1.2	ସାତେଲାଇଟର କାମ		୩
1.3	ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷର ଶକ୍ତି		୫
1.4	ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷ		୧୦
1.5	କେପଲରଙ୍କ ନିୟମାବଳୀ		୧୨
1.6	ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ ଅବସ୍ଥିତି		୧୩
1.7	ରକେଟ୍ ମୋଟର		୧୪
1.8	ରକେଟର ଛିନ୍ନ ପରିବେଗ		୧୬
1.9	ବହୁସ୍ତର ରକେଟ୍		୧୭
1.10	ରକେଟ ପାଇଁ ଇନ୍ଧନ		୧୮

### ୨ । ଦ୍ୱିତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ—

2.	ସୂଚନା	୨୪
2.1	କାଲୁନିକ ଉଥର	୨୪
2.2	ମାଇକେଲସନ୍ ମିରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା	୨୭
2.3	ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ସ୍ୱୀକାର	୩୦
2.4	ସ୍ଥାନାଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକାତ୍ୱ ରୂପାନ୍ତର	୩୧
2.5	ପରିବେଗର ସଂଯୋଜନ	୩୩

	ବିଷୟ	ପୃଷ୍ଠା
2.6	ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ	୩୪
2.7	ଗଢ଼ ଶକ୍ତି	୩୫
2.8	ସମୟର ପ୍ରସାର	୩୭

### ୩ । ତୃତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ

ଫୋଟନ୍ ଏବଂ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ—

3.	ସୂଚନା	୪୨
3.1	ବୃଷ୍ଟବସ୍ତୁ ବିକିରଣ	୪୨
3.2	ଫୋଟନ ଏବଂ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରଭାବ	୪୩
3.3	ଅବକ୍ତିର ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ	୪୪
3.4	କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବ	୪୬

### ୪ । ଚତୁର୍ଥ ଅଧ୍ୟାୟ

ପରମାଣୁ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ—

4.	ସୂଚନା	୫୨
4.1	ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉତ୍ପତ୍ତି	୫୩
4.2	ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ	୫୫
4.3	ନ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ତତ୍ତ୍ୱ, ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ	୫୭
4.4	ଉତ୍ପତ୍ତିର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ	୫୮
4.5	ପରମାଣୁର ଗଠନ	୬୦
4.6	ବୋରଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନିୟମ	୬୧
4.7	ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ	୬୫
4.8	ସାଦୃଶ୍ୟବୋଧକ ପଦ୍ଧତି	୬୮

### ୫ । ପଞ୍ଚମ ଅଧ୍ୟାୟ

ତରଙ୍ଗ ଓ ପଦାର୍ଥର ଦ୍ୱି-ପ୍ରକୃତି—

5.	ସୂଚନା	୭୨
5.1	ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ	୭୨

	ବିଷୟ	ପୃଷ୍ଠା
5.2	ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଦବର୍ତ୍ତନ	୭୩
5.3	ତରଙ୍ଗ ଦ୍ବିୟାବସ୍ଥା	୭୫
5.4	କ୍ରାୟମ୍ ସଂଖ୍ୟା	୭୯
5.5	ପାଉଲ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ	୮୦
5.6	ଧାତୁରେ ପରିବହନ	୮୧
5.7	ହଲଙ୍କ ପ୍ରଭାବ	୮୩
5.8	ପରିବହନର ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ କ୍ରାୟମ୍ ତତ୍ତ୍ବ	୮୬
5.9	ବ୍ୟାଣ୍ଡ ତତ୍ତ୍ବ	୮୭
5.10	ଟ୍ରାନ୍ସଫରମ୍	୮୯

## ୬ । ଷଷ୍ଠ ଅଧ୍ୟାୟ

ନିଉକ୍ଲିୟାର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ—

6.	ସୁଚନା	୯୪
6.1	ଡେଜିସ୍ଟ୍ରିୟୁ ପରମାଣୁ ଓ ତାର ଉଦ୍ଭାବନ	୯୪
6.2	ଡେଜିସ୍ଟ୍ରିୟୁ ପରମାଣୁର ବିକିରଣ	୯୫
6.3	ଡେଜିସ୍ଟ୍ରିୟୁ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକର ଧର୍ମ	୯୬
6.4	ଡେଜିସ୍ଟ୍ରିୟୁ ବିକିରଣ ଦ୍ବାରା ଅୟୁଜ୍ଞାକରଣ	୯୮
6.5	ଡେଜିସ୍ଟ୍ରିୟୁ କ୍ଷୟର ନିୟମ	୯୯
6.6	$\gamma$ ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ	୧୦୧
6.7	$\alpha$ ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ	୧୦୧
6.8	$\beta$ ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ	୧୦୩
6.9	ପ୍ରାକୃତିକ ଡେଜିସ୍ଟ୍ରିୟୁ ଶ୍ରେଣୀ	୧୦୫
6.10	କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ	୧୦୭
6.11	ଶକ୍ତିଶାଳୀ କଣିକାର ଉତ୍ପାଦନ	୧୦୯
6.12	ତ୍ବରିତ କଣିକା ଦ୍ବାରା ବିଘଟନ	୧୧୨
6.13	ବିଘଟନ ସମୟରେ ବସ୍ତୁ ଶକ୍ତିର ରୂପାନ୍ତର	୧୧୩
6.14	ନିଉଟ୍ରନ୍ର ଉଦ୍ଭାବନ	୧୧୪

	ବିଷୟ	ପୃଷ୍ଠା
6.15	କର୍ମମିତ୍ତ ରକ୍ଷା	୧୧୭
6.16	ପଞ୍ଚତନ୍ତ୍ର	୧୧୭
6.17	ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ	୧୧୭
6.18	ବିରଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା	୧୧୯
6.19	ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିସ୍ଫୋଟର	୧୨୦
6.20	ପୁନଃଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା	୧୨୧

### ୭ । ପରିଶିଷ୍ଟ

(1)	ପରମାଣୁ ସମ୍ବନ୍ଧର ତାଲିକା	୧୩୧
(2)	କେତେକ ଭୌତିକ ଧ୍ରୁବୀକର ପରିମାଣ	୧୩୫
(3)	ପରିଭାଷା	୧୩୭



# ମୁଖବନ୍ଧ

ପୃଥ୍ବୀର ବିଶିଷ୍ଟ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ଜୀବନୀ ପାଠକଲେ ଜଣାଯାଏ ଯେ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ବାଲ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବିଜ୍ଞାନ ଶିକ୍ଷା ନ କରି ମଧ୍ୟ ପରେ ଜଣେ ଜଣେ ବିଶିଷ୍ଟ ବୈଜ୍ଞାନିକ ହୋଇ ପାରିଥିଲେ । କିନ୍ତୁ ଅମ ଦେଶରେ ଏପରି ଦୃଷ୍ଟାନ୍ତ ଦେଖିବାକୁ ମିଳେ ନାହିଁ । ଏହାର ପ୍ରଧାନ କାରଣ ହେଲା, ଅମ ଦେଶରେ ମାତୃଭାଷାରେ ଲିଖିତ ବିଜ୍ଞାନ ବହି ପ୍ରାୟ ନାହିଁ କିଛିଲେ ଅତ୍ୟୁକ୍ତ ହେବନାହିଁ । ଯେ ଇଂରାଜୀ ନ ପଢ଼ିଛି, ସେ ବିଜ୍ଞାନ ବିଷୟରେ କିଛି ଜାଣେ ନାହିଁ । ଯେଉଁଠି ମାତୃଭାଷାରେ ଲିଖିତ ବିଜ୍ଞାନ ବହିର ଉପାଦେୟତା ଯଥେଷ୍ଟ ରହୁଛି ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଶ୍ରବଣମାନଙ୍କ ମନରେ ଏହି ବିଶ୍ୱାସ ରହୁଛି ଯେ ଅଧୁନିକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଜର୍ଜଲ ଡବ୍ଲ୍ୟୁଡ଼ିକ ଦୁବୋୟସ । କିନ୍ତୁ ପ୍ରକୃତରେ ତାହା ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ଯେ କୌଣସି ଜର୍ଜଲ ଡବ୍ଲ୍ୟୁଡ଼ିକ ଅତି ସହଜ ଓ ସରଳ ଭାବରେ ଲେଖି ଯାଇପାରେ ଯାହାକୁ ବି ସାଧାରଣ ଜ୍ଞାନ ଲଭ କରିଥିବ । ଯେ କୌଣସି ବ୍ୟକ୍ତି ମଧ୍ୟ ବୁଝି ପାରିବ । ଏହି ଲକ୍ଷ୍ୟକୁ ଅଗରେ ରଖି ଏହି ପୁସ୍ତକରେ ଅଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କେତେକ ଜର୍ଜଲ ଡବ୍ଲ୍ୟୁଡ଼ିକ ସରଳ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାର ପ୍ରୟାସ କରାଯାଇଅଛି । ଏହି ଟେକ୍ସଟା କେତେଦୂର ସଫଳ ହୋଇଛି, ତାହା ପାଠକମାନେ ଜିଗୁର କରିବେ ।

ଏହି ପୁସ୍ତକଟି ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ଉତ୍ତରମିଡ଼ିଏଟ୍ (Intermediate) ପାଠ୍ୟକ୍ରମର ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ହୋଇଥିବା କେତେକ ବିଷୟ ଶ୍ରେଣୀ ଉପରେ ଆଧାରିତ । ମାଧ୍ୟମିକ ଶିକ୍ଷାବୋର୍ଡ଼ ପରିଚାଳିତ ହାଇସ୍କୁଲ ସାର୍ଟିଫିକେଟ ପରୀକ୍ଷାରେ ଉତ୍ତୀର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବା ହିସାବ ଶାସ୍ତ୍ର ବିକ୍ରମିତ୍ରୀ (Trigonometry) ବୀଜ ଶାସ୍ତ୍ର (Algebra) କିମ୍ବା ସାଧାରଣ ଜ୍ୟାମିତି (Geometry) ଜାଣିଥିବା ଯେ କୌଣସି ଶ୍ରବଣ ଏହି ପୁସ୍ତକକୁ ପଢ଼ି ବୁଝି ପାରିବେ ବୋଲି ମୋର ଆଶା ।

ଏହି ପୁସ୍ତକରେ ଥିବା ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ଇଂରାଜୀ ଶବ୍ଦର ଓଡ଼ିଆ ପରିଭାଷା “ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା” ଦ୍ଵାରା ପ୍ରକାଶିତ “ବୈଜ୍ଞାନିକ ପରିଭାଷା” (ପ୍ରଥମ ଭାଗ) ଓ ଭାରତ ସରକାରଙ୍କ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରକାଶିତ “ବିଜ୍ଞାନ ଶବ୍ଦାବଳୀ-୧” (Science Glossary-1) ରୁ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଇଛି ।

ଏହି ପୁସ୍ତକଟି “ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା”ଙ୍କ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥିବାରୁ ମୁଁ ତାର କର୍ମକର୍ତ୍ତାମାନଙ୍କୁ ଧନ୍ୟବାଦ ଜଣାଉଛି ।

ସତ୍ୟୋପରି ଉତ୍କଳ ବିଶ୍ଵବିଦ୍ୟାଳୟ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବିଭାଗର ମୁଖ୍ୟ ଅଧ୍ୟାପକ ଡଃ ବିଭୁତି ଭୂଷଣ ଦେଓ ଏହି ପୁସ୍ତକର ପାଣ୍ଡୁଲିପିର ସୁଦୃଢ଼ ନିରୀକରଣ କରିବା ଦିଗରେ ମୋତେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥିବାରୁ ମୁଁ ତାଙ୍କ ନିକଟରେ କୃତଜ୍ଞ ।

ପଦ୍ମତପାବନ ମିଶ୍ର

## ଶୁଦ୍ଧପଦ

ପୃଷ୍ଠା	ଧାଡ଼ି	କଣ ଅଛି	କଣ ହେବ
5	24	$w$	$W$
5	27	$w_1$	$W_1$
6	10 <sup>-</sup>	$W_3$	$W_2$
7	12	$w^2$	$\omega^2$
7	15	$w^2$	$\omega^2$
7	16	$w^2$	$\omega^2$
11	12	Reetangular	Rectangular
17	9	$-\vec{v}_e = \frac{dm}{dt} - mg = m \frac{dv}{dt}$	$-\vec{v}_2 \frac{dm}{dt} - mg = m \frac{dv}{dt}$
18	7	କର୍ଷଣୀୟ	କର୍ଷଣୀୟ
18	11	ଅବଜେନ୍	ଅବଜେନ୍
37	13	ବେଗ ସମୀକରଣ	ବେଗ । ସମୀକରଣ
40	13	ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ରେ	ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର
40	22	ଶକ୍ତି ।	ଶକ୍ତି 1
43	19	Frequency	Frequency
44	6	$v$	$v$
44	8	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}mv^2$
44	12	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}mv^2$
46	25	କରୁଥିଲେ ବିଦ୍ୟୁତ୍	କରୁଥିଲେ । ବିଦ୍ୟୁତ୍
48	10	(7) ଓ (8)	(3.7) ଓ (3.8)
50	3	ଇଃଇଃ	ଇଃଇଃ
50	28	ପାଙ୍କ	ପାଙ୍କ
55	ଶେଷ	ବିଶିଷ୍ଟ	ବିଶିଷ୍ଟ
66	5	$k$	$K$



ପୃଷ୍ଠା	ଧାଡ଼ି	କଣ ଥିବୁ	କଣ ହେବ
66	6	ପିରିପୃଷ୍ଠକ	ପିରିପୃଷ୍ଠକ ଟେବୁଲ
70	22	ଫୋଟନ	ଫୋଟନ
71	10	Potentic	Potential
72	5	ପଦାର୍ଥ	କଣିକା
73	2	$u$	$v$
73	6	$\sqrt{\frac{105}{V}}$	$\sqrt{\frac{150}{V}}$
73	12	ନିଉଟ୍ରନ୍‌ରେ	ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର
75	3	ପଦାର୍ଥ	ପଦାର୍ଥ
76	1	ଦିରେ	ଦିଗରେ
76	13	$P_n = \frac{h}{\lambda_n}$	$P_n = \frac{h}{\lambda_n}$
77	15	ବାକ	ବାକ୍ସ
78	12	ବିଭବାନ୍ତର	ବିଭବ
78	15	ବିଭବାନ୍ତର	ବିଭବ
79	26	$= -l, (l-1), (l-2) \dots$ $-1, 0 + 1(l-1)$	$= -l, (l-1), \dots$ $-1, 0, +1, \dots + (l-1), +l$
82	17	R	K
85	10	ସେ:ମି	ଓମ୍-ମି
89	3	ବର୍ଦ୍ଧିତ	ବର୍ଦ୍ଧିତ
100	21	$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{20} = e$	$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{20} = e^{-0.11t}$
101	8	6.25	6.025
103	6	$\simeq 4/A - 4$	$4/(A-4)$
105	15	ଶ୍ରେଣୀ	ଶ୍ରେଣୀ
107	3	${}_1H^2$	${}_1H^3$
109	24	ପରିମାଣର ଏକ	ପରିମାଣର ଦୁଇ ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ ଏକ

ପୃଷ୍ଠା	ଧାତୁ	କଣ ଅଛି	କଣ ଦେବ
110	26	ଏକ	ଏକ
112	27	$-1e^0$	$-1e^0$
114	2	ଅ.ମ.ର.	ଅ.ମ.ର.
115	16	${}_{79}\text{Au}^{199} \rightarrow {}_{80}\text{Au}^{198} + {}_{-1}e^0$	${}_{79}\text{Au}^{198} \rightarrow {}_{80}\text{Hg}^{198} + {}_{-1}e^0$
116	26	ଉତ୍ତୁର	ନିଉଟ୍ରନ୍
122	23	$18^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C}$
126	22	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
129	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
130	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
131	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
132	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
133	15	Boldman's	Boltzmann's
133	21	$160206 \times 10^{-19}$	$1.60206 \times 10^{-19}$
137	11	ତାପକ୍ରମ	ତାପକ୍ରମ କ୍ରମା ତାପମାତ୍ରା
138	20	ପ୍ରଜ୍ଞ	ପ୍ରଜ୍ଞ
139	3	ବିବରଣ	ବିବରଣୀ

---

# ପ୍ରଥମ ଅଧ୍ୟାୟ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ( Space Physics )

160୨ ମସିହାରେ ଗାଲିଲିଓ ଦୂରଦର୍ଶନ ଯନ୍ତ୍ର ଉଦ୍ଭାବନ କଲେ । ସେହିଦିନଠାରୁ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ସଂପର୍କରେ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ ହେଲା । କିନ୍ତୁ ଏହି ଗବେଷଣା ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ବହୁ ଦୂରରେ ଥିବା ଗ୍ରହ ନକ୍ଷତ୍ରମାନଙ୍କୁ ନିରୀକ୍ଷଣ କରି ସେମାନଙ୍କ ସଂପର୍କରେ ଜ୍ଞାନ ଅର୍ଜନ କରିବାରେ ସୀମାବଦ୍ଧ ରହିଥିଲା । ଏହାର ପ୍ରାୟ 300 ବର୍ଷ ପରେ ରୁଷ ଦେଶର ବୈଜ୍ଞାନିକ କିଓଲ କୋସ୍କି (Ziolkowski) ଏବଂ ଗୁଡ଼ାର୍ଡ (Goddard) ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଦ୍ରନ (Chemical fuel) ବ୍ୟବହାର କରି ଏକ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ (rocket) ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିବାକୁ ଯତ୍ନ ହୋଇଥିଲେ । 1957 ମସିହା ଅକ୍ଟୋବର ମାସ 4 ତାରିଖରେ ପ୍ରଥମ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ ପୃଥିବୀର ବାୟୁମଣ୍ଡଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ପୃଥିବୀ ଗୁଡ଼ିପଟେ ଗୋଟିଏ ଉପଗ୍ରହ ହୋଇ ଚାଲିଲା । ସେହିଦିନଠାରୁ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନ୍ୱେଷଣ (Space exploration) ବିଧିବଦ୍ଧ ଭାବରେ ଆରମ୍ଭ ହେଲା ।

## ୧ । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନ୍ୱେଷଣର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ( Aim of space exploration )

ଲକ୍ଷ ଲକ୍ଷ ବର୍ଷ ତଳର ମନୁଷ୍ୟ ଆକାଶକୁ ଚାହିଁ ଯେତିକି ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହେଉଥିଲା, ଆଜିର ମନୁଷ୍ୟ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ କଥା ଭାବି ତାର କୋଟିଗୁଣ ବଞ୍ଚିତ ହେଉଛି । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ସଂପର୍କରେ ତାର ଜ୍ଞାନ ଯେତିକି ବଢ଼ୁଛି, ତାର ବିସ୍ମୟ ସେହି ଅନୁପାତରେ ବଢ଼ି ଚାଲୁଛି । ତେଣୁ ସେ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ସଂପର୍କରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ସଂଗ୍ରହ କରିବା ପାଇଁ ଅଗେଇ ଯାଉଛି । ଆଜିର ମନୁଷ୍ୟ ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତୋଟି ବିଷୟରେ ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ଜାଣିବା ପାଇଁ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଗବେଷଣା ଉପରେ ଧ୍ୟାନ ଦେଉଛି—

1. ପ୍ରକୃତର ଗୁପ୍ତ ତଥ୍ୟ ।
2. ସୌର ଜଗତ ଓ ସୂର୍ଯ୍ୟର କାରଣ ।

3. ଅନ୍ୟ ଗ୍ରହ ନକ୍ଷତ୍ରମାନଙ୍କରେ ପ୍ରାଣୀ ଜଗତର ଅବସ୍ଥାର ।
4. ସୂର୍ଯ୍ୟ ସପର୍କରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ଲଭ ।
5. ବିଶ୍ଵ ସପର୍କରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ଲଭ ।
6. ବିଜ୍ଞାନରେ ଅଧିକ ପାରଦର୍ଶିତା ଲଭ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଅନ୍ତଃସ୍ପର୍ଷ ସପର୍କରେ ଗୁଲିଥିବା ଗବେଷଣାଗୁଡ଼ିକରୁ ନିମ୍ନଲିଖିତ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ଜାଣି ପାରିବା ।

### 1. ଚନ୍ଦ୍ର ବିଷୟରେ ଏ ସବୁ ଜଣା ଗଲାଣି—

- (a) ଚନ୍ଦ୍ର ଉପରେ ମନୁଷ୍ୟ କେଉଁଠାରେ ପ୍ରଥମେ ବସବାସ କରିବ ।
- (b) ଚନ୍ଦ୍ରର ପୃଷ୍ଠ ଭାଗ ଧୂଳିକଣା ଦ୍ଵାରା ଅବୃତ୍ତ କି ନୁହେଁ ।
- (c) ଚନ୍ଦ୍ରରୁ ତେଜସ୍ଵୀୟ ବିକୀରଣ ହୁଏ କି ନାହିଁ ।
- (d) ଚନ୍ଦ୍ରର ମହାକର୍ଷଣ ବଳ (Gravitational force)ର ପରିମାଣ କେତେ ?
- (e) ଚନ୍ଦ୍ର ପୃଷ୍ଠରେ କୌଣସି ଜାଗାରେ ଫାଟ (Crack) ଅଛି କି ନାହିଁ ।

2. ସେତୁପରି ମଙ୍ଗଳ (Mars) ଏବଂ ଶୁକ୍ର (Venus) ବିଷୟରେ ଆମେ ନିମ୍ନଲିଖିତ ବିଷୟମାନ ଜାଣିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରୁଁ ।

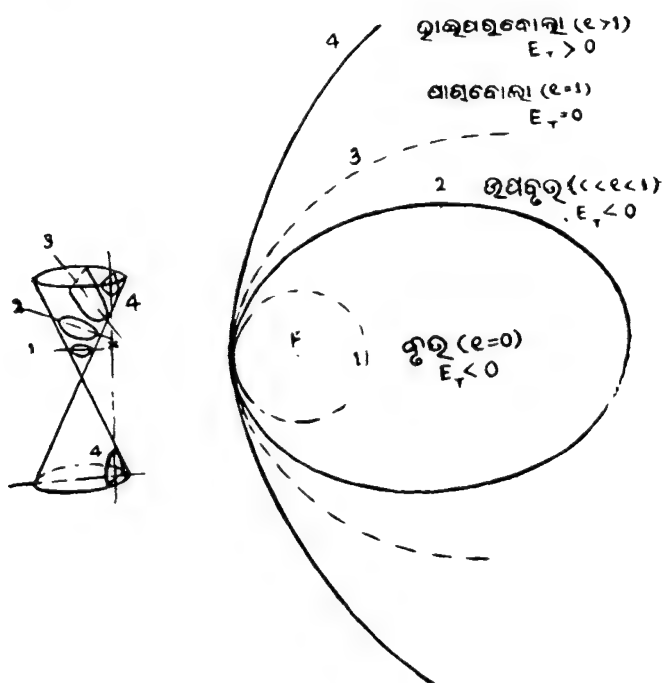
- (a) ମଙ୍ଗଳ ଗ୍ରହ ପୃଥିବୀ ପରି କି ନୁହେଁ ?
- (b) ମଙ୍ଗଳରେ ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ଓ ଜଳ ଅଛି କି ନାହିଁ ?
- (c) ମଙ୍ଗଳରେ ଜୀବନ୍ତ ପ୍ରାଣୀ ଅଛନ୍ତି କି ନାହିଁ, ଓ ମନୁଷ୍ୟ ସେଠାରେ ବାସ କରି ପାରିବ କି ନାହିଁ ?
- (d) ଶୁକ୍ର କାହିଁକି ମେଘ ଦ୍ଵାରା ଅଚ୍ଛାଦିତ ହୋଇଥାଏ ?
- (e) ଶୁକ୍ରରେ ଥିବା ମେଘ କେଉଁ ଉପାଦାନରେ ଗଠିତ ?
- (f) ଶୁକ୍ରର ପୃଷ୍ଠଭାଗ ଉପରି ଓ ଏହାର ତାପ ନ୍ତ୍ରମ (Temperature) କେତେ ?
- (g) ଶୁକ୍ରରେ ଜଳ ଓ ଅମ୍ଳଜାନ ଅଛି କି ନାହିଁ ?

ଏହା ବ୍ୟତୀତ ରକେଟ ସାହାଯ୍ୟରେ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଗୁପ୍ତ, ତାପନ୍ତ୍ରମ ଇତ୍ୟାଦି ବିଷୟରେ ଜାଣି ହୁଏ । କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ (Satellite) ସାହାଯ୍ୟରେ

ପୃଥିବୀର ଆକାର, ପାଗ (weather) ଏବଂ ଗୁମ୍ଫାକ୍ଷେପ କ୍ଷେତ୍ର କ୍ଷେତ୍ରରେ ଧାରଣା କରି ହୁଏ । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନ୍ତରାକାଶ ଗବେଷଣା (Space probe Rocket) ଦ୍ଵାରା ବିକୀରଣ ବେଲ୍ଟ (Radiation belt) ଓ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଆୟୋନୀକରଣ (Ionisation) ସମ୍ପର୍କରେ ସଠିକ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରାଯାଇପାରେ ।

## ୨ । ସାଟେଲାଇଟର କକ୍ଷ (Orbits of Satellites)

ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟ ଏକ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ (Central Body) ନିକଟ ଦେଇ ଗତିକଲେ ତାର ଗତିପଥ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ହୋଇଥାଏ । ଗାଣିତିକ ନାମକରଣ ଅନୁସାରେ ଏହି ପଥକୁ କୋନିକ୍ ବକ୍ତ୍ର (Conic Curve) କୁହାଯାଏ । ଗୋଟିଏ କାହାଳି ବା ଲମ୍ବ ହୃତ୍ଵୀୟ କୋନ୍ (Right circular cone) କୁ ବିଭିନ୍ନ ସମତଳରେ କାଟିବାର କଳ୍ପନା କଲେ ଯେଉଁସବୁ ବକ୍ତ୍ର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ମିଳେ, ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ କୋନିକ୍ ବକ୍ତ୍ର (Conic Curve) ଅଟେ (ଚିତ୍ର ଦେଖ) ।



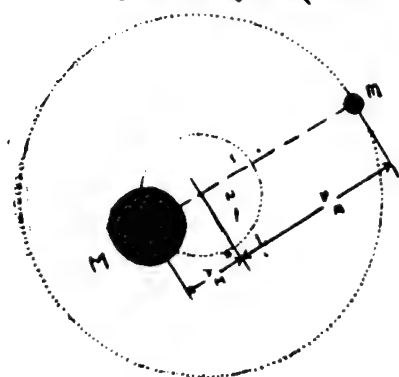
ଚିତ୍ର (1.1)

ଯଦି ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ଏକ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ (Central Body) ଦ୍ଵାରା ବନ୍ଧା (Bound) ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ବନ୍ଧା ହୋଇଥିବା ବସ୍ତୁଟି ଗ୍ରହଗୁଡ଼ିକ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଋତୁପାଖରେ ବୁଲିଲା ପରି ଏକ ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷ (elliptic orbit) ରେ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ ଋତୁପାଖରେ ବୁଲେ । କିନ୍ତୁ କୌଣସି ଏକ ଧୂମକେତୁ (Comet) ସୂର୍ଯ୍ୟ ପାଖରେ ଗତିକଲେ ତାର ପଥ ହାଇପରବୋଲିକ୍ (Hyperbolic) ହୋଇ ଥାଏ । ଏକ ପାରାବୋଲିକ୍ ପଥ (Parabolic) ହାଇପରବୋଲିକ୍ ପଥର ଏକ ବିଶେଷ ପ୍ରକରଣ ଏବଂ ସେଥିପରି ଏକ ବୃତ୍ତାକାର ପଥ, ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷର ଏକ ବିଶେଷ ପ୍ରକରଣ । ପାରାବୋଲିକ୍ ଓ ବୃତ୍ତାକାର ପଥ ଦ୍ଵୟ ଅସ୍ଥାୟୀ (unstable) ଓ ସାମାନ୍ୟ ବିଘୋର (disturbance) ଦ୍ଵାରା ଯଥାକ୍ରମେ ହାଇପରବୋଲିକ୍ ଓ ଉପବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ଯାଏ । ଚିତ୍ର (1.1) ରେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାର ପଥର ଚିତ୍ର ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ସାଟେଲାଇଟ୍‌ର କକ୍ଷକୁ ବୃତ୍ତାକାର ବୋଲି ଧରିନେଲେ କେତେକ ସାଧାରଣ ଗୁରୁତ୍ଵପୂର୍ଣ୍ଣ ବିଷୟର ସଂଧାନ ସହଜରେ ମିଳେ । ଅମେ ଯଦି ନିମ୍ନଲିଖିତ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକୁ କଲ୍ପନା କରି ନେଉ, ତାହେଲେ ସାଟେଲାଇଟ୍‌ର କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ବୃତ୍ତାକାର ହେବ ।

(1) କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁର (Central body) ମହାକର୍ଷଣୀୟ (gravitational force) ବଳ କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ ସାଟେଲାଇଟ୍‌ର ଦୂରତା ଉପରେ କେବଳ

ବସ୍ତୁର କେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥିତିପାଖେ  
ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁର ଉତ୍ପତ୍ତି



ଚିତ୍ର (1.2)

ନିର୍ଭର କରେ । (2) ସାଟେଲାଇଟ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ଵ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ତୁଳନାରେ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ । ତେଣୁ ଦୁଇ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ଵର କେନ୍ଦ୍ର ( ଚିତ୍ର (1.2) ) (centre of mass) କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁର କେନ୍ଦ୍ର ସହିତ ପ୍ରାୟ ମିଳିଯିବ । (3) ବସ୍ତୁ ଦୁଇଟି ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଲକାକାର (Spherical) ।

କିନ୍ତୁ ପ୍ରକୃତରେ ପୃଥିବୀ ଏକ ଗୋଲକ ନୁହେଁ । ଏହା ଦୁଇ ମେରୁ

ପାଖରେ ସାମାନ୍ୟ ତେପଟା ହୋଇ ଥିବାରୁ ପୃଥିବୀର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳର ପ୍ରଭାବ ସାତେଲାଇଟ ଉପରେ ସବୁ ସ୍ଥାନରେ ସମାନ ଭାବେ ପଡ଼େ ନାହିଁ, ତେଣୁ ସବୁବେଳେ ସାତେଲାଇଟ୍ କକ୍ଷର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଥାଏ । ନିମ୍ନୋକ୍ତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଯୋଗୁ ସାତେଲାଇଟ୍ ପୃଥିବୀର ବିଭିନ୍ନ ଅଂଶ ଉପର ଦେଇ ଯାଇପାରେ ।

## ୩ । ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷର ଶକ୍ତି (Energy of Circular orbits)

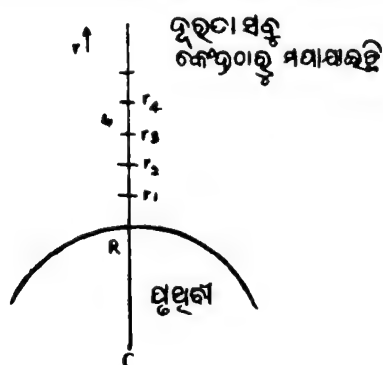
ଅମେ ଆଗରୁ ଜାଣି କೊଣସି ବସ୍ତୁକୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଯେତେ ଦୂରକୁ ନେବା, ତାର ବିଭବ ଶକ୍ତି (Potential Energy) ସେତେ ବଢ଼ିବ । ଏହି ବିଭବ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାକୁ ହେଲେ କେଉଁ ଦୂରତାରେ ବସ୍ତୁର ବିଭବ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ, ତାହା ଜାଣିବା ଦରକାର । ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବିଭବ ଶକ୍ତି (Gravitational potential energy) ମାପିବା ସମୟରେ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁଟି ସମୁଦ୍ର ପତ୍ତନରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ବିଭବ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଏ । କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥଳରେ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁଟି କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ (central mass) ଠାରୁ ଅନନ୍ତ (infinity) ଦୂରରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ବିଭବ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଏ ।

ଗୋଟିଏ ବୃହତ୍ ବସ୍ତୁ ଠାରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରତାରେ ଥିବା ଏକ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରତାକୁ ଆଣିବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିକୁ ବିଭବ ଶକ୍ତି ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଯଦି ବସ୍ତୁଟି ଆକର୍ଷିତ ହୋଇ ଆସେ ଆସେ ଆସିପାରେ, ତେବେ ‘ $r$ ’ ଦୂରତାରେ ବିଭବ ଶକ୍ତି ନେଗେଟିଭ (negative) ହେବ । ଯଦି ବସ୍ତୁଟି ବିକର୍ଷିତ ହେଉଥାଏ, ତେବେ ବିଭବ ଶକ୍ତି ପଜିଟିଭ (positive) ହେବ ।

ମନେକର ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁ ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ର ଠାରୁ  $r$  ଦୂରରେ ଅଛି ଓ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ବସ୍ତୁଟିକୁ  $r$  ଦୂରକୁ ନେବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ  $W$  ହେଉ । ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠ  $R$  ଠାରୁ  $r$  ଦୂରତାକୁ ଏପରି କେତେଗୁଡ଼ିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଂଶରେ ବିଭକ୍ତ କରି ଯେପରି ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଂଶ ପାଇଁ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ  $F_g$  (gravitational force) ର ପରିମାଣ ସମାନ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଇପାରେ । ଯଦି ବସ୍ତୁକୁ  $R$  ଠାରୁ  $r_1$  କୁ ନେବା ପାଇଁ  $n_1$

ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୁଏ, ପୃଥିବୀର ବସ୍ତୁତ୍ୱ  $M$ , ଓ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ  $m$  ଓ  $G$  ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଧ୍ରୁବଙ୍କ ହୁଏ,

ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବିଭବ ଶକ୍ତିର ପରିକଳନା



ଚିତ୍ର (1.3)

$$\begin{aligned} \text{ତେବେ } W_1 &= F_g (r_1 - R) \\ &= \frac{GMm}{Rr_1} (r_1 - R) \\ &= GMm \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r_1} \right) \end{aligned} \quad (1.1)$$

ସେହିପରି ଦ୍ୱିତୀୟ ଅଂଶ ପାଇଁ—

$$W_2 = \frac{GMm}{r_1 r_2} (r_2 - r_1) = GMm \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.2)$$

ଏବଂ ତୃତୀୟ ଅଂଶ ପାଇଁ—

$$W_3 = GMm \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right) \quad (1.3)$$

ତେଣୁ  $W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$

$$W = GMm \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) \quad (1.4)$$

ସମୀକରଣ (1.4) ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁକୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରକୁ ନେବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ ।



ଯଦି ବସ୍ତୁଟି ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ବିଭବ ଶକ୍ତିକୁ ଶୂନ୍ୟ ଧରାଯାଏ, ତେବେ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବିଭବ ଶକ୍ତି (Gravitational potential energy) ର ପରିମାଣ ହେଲା—

$$E_p = -W_{r \rightarrow \infty} = -GMm \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{\infty} \right) \\ = -\frac{GMm}{r} \quad (1.5)$$

ତେଣୁ ପୃଥିବୀ ଗୁଡ଼ିପାଖେ ବୁଲୁଥିବା ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ବିଭବ ଶକ୍ତି ସବୁବେଳେ ନେଗେଟିଭ ହେବ । ଗତିଶୀଳ ବସ୍ତୁର ଗତିଶକ୍ତି  $E_k$  ପରିମାଣ ହେଲା  $\frac{1}{2} mV^2$  ଏବଂ ବସ୍ତୁଟି ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିଲେ  $V = \omega r$  (1.6)

ଯେଉଁଠାରେ  $V$  = ସରଳ ରେଖିକ ବେଗ (Linear velocity)

$\omega$  = କୌଣସିକ ବେଗ (Angular velocity)

$r$  = ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ

$$\text{ତେଣୁ } E_k = \frac{1}{2} m\omega^2 r^2$$

ବସ୍ତୁଟି ପୃଥିବୀ ଗୁଡ଼ିପାଖେ ବୁଲୁଥିବାରୁ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ (Gravitational force) କେନ୍ଦ୍ରାଭିସାଗ୍ର ବଳ (Centrifugal force) ସମ୍ବତ୍ ସମାନ

$$\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r \quad (1.7)$$

$$\text{କିମ୍ବା} \quad GM = r^3 \omega^2 \quad (1.8)$$

ଗତିଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା

$$E_k = \frac{1}{2} \frac{GmM}{r} \quad (1.9)$$

ଏହିଥିରୁ ଜଣାଗଲା ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିବା ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ଗତିଶକ୍ତି ସର୍ବଦା ପଜିଟିଭ (Positive) ତେଣୁ ଏହାର ଗତିଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହା କାର୍ଯ୍ୟ କରୁପାରେ ।

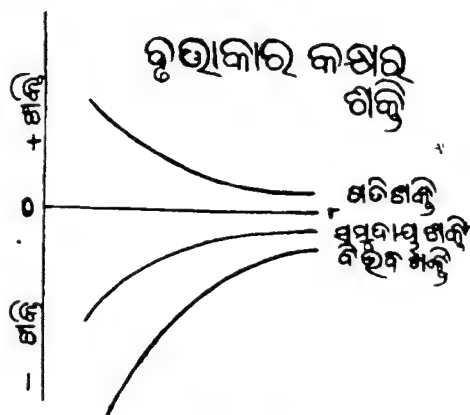
ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷ ପାଇଁ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ  $E$  ହେଲେ

$$E = E_k + E_p = \frac{GmM}{2r} - \frac{GmM}{r}$$

$$\text{ବା,} \quad E = -\frac{GmM}{2r} \quad (1.10)$$

ବିଭବ ଶକ୍ତି ନେଗେଟିଭ୍ ହେବାରୁ ବସ୍ତୁଟି ପୃଥିବୀ ସହଜ ଅବସ୍ଥା (Bound) ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରୁ ବସ୍ତୁଟିକୁ ମୁକ୍ତ କରିବା ପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଦରକାର ।

ସମୀକରଣ (1.10) ରୁ ଜଣାଯାଏ, ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ବୃଦ୍ଧି ହେଲେ ବିଭବ ଶକ୍ତି ଓ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତିର ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ ଏବଂ ଗତିଶକ୍ତିର ହ୍ରାସ ହୁଏ । (ଚିତ୍ର (1.4) ଦେଖ)



ଚିତ୍ର (1.4)

ଉଦାହରଣ—

100 କି:ଗ୍ରା: ଓଜନ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ 10 କି:ମି:/ସେକେଣ୍ଡ ବେଗରେ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଛଡ଼ା ଗଲା । ଉପଗ୍ରହଟି ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲି ପାରିବ ନା ନାହିଁ ?

ଉପଗ୍ରହର ବିଭବ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଯଦି ତାର ଗତିଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଠାରୁ ବେଶୀ ହେବ, ତାହା ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲିବ ଓ କମ ହେଲେ ତାହା ପୃଥିବୀର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଯିବ ।

$$\begin{aligned}
 E_p &= -\frac{GMm}{R} \\
 &= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \text{ ମି}^3}{\text{କି:ଗ୍ରା}-\text{ସେକେଣ୍ଡ}^2} \times \frac{5.97 \times 10^{24} \text{ କି:ଗ୍ରା} \times 100 \text{ କି:ଗ୍ରା}}{6.37 \times 10^6 \text{ ମି}} \\
 &= -6.24 \times 10^9 \text{ ଯୁଲ୍} \\
 E_k &= \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} \times 100 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times (10 \times 10^3 \text{ ମି/ସେ})^2 \\
 &= 5 \times 10^9 \text{ ଯୁଲ୍}
 \end{aligned}$$

ତେଣୁ  $E = E_k + E_p = -1.24 \times 10^9 \text{ ଯୁଲ୍}$

ଏଠାରେ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି ନେଗେଟିଭ ହୋଇଥିବାରୁ ସାଟେଲାଇଟଟି ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୁଲିବ ।

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ରକେଟର ସଂକଳ୍ପ ବେଗ କେତେହେଲେ ତାହା ପୃଥିବୀ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଯାଇ ପାରିବ ?

ରକେଟ ଉପରେ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଓ ପୃଥିବୀର ଦୃର୍ଭୀନର ପ୍ରଭାବକୁ ଛାଡ଼ି ଦେଲେ ସଂକଳ୍ପ ବେଗର ପରିମାଣ ସହଜରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ । ଯେଉଁ ବେଗରେ ଗଲେ ରକେଟର ବିଭବଶକ୍ତି ଗତିଶକ୍ତି ସମ୍ବତ ସମାନ ହେବ ସେହି ବେଗ ହେଉଛି ସଂକଳ୍ପ ବେଗ । ଯଦି  $V$  ସଂକଳ୍ପ ବେଗ ହୁଏ, ତେବେ

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mV^2 &= \frac{GMm}{R} \quad \text{କିମ୍ବା} \quad V^2 = \frac{2GM}{R} \\ &= \frac{2 \cdot (6.67 \times 10^{-11} \text{ ନିଉଟନ-ମି}^2) (5.97 \times 10^{24} \text{ କି.ଗ୍ରା})}{(6.37 \times 10^6)^2} \\ &= 1.23 \times 10^8 \text{ ମି}^2/\text{ସେ}^2 \\ V &= 11.2 \text{ କି.ମି./ସେ} \end{aligned}$$

ଉଦାହରଣ—

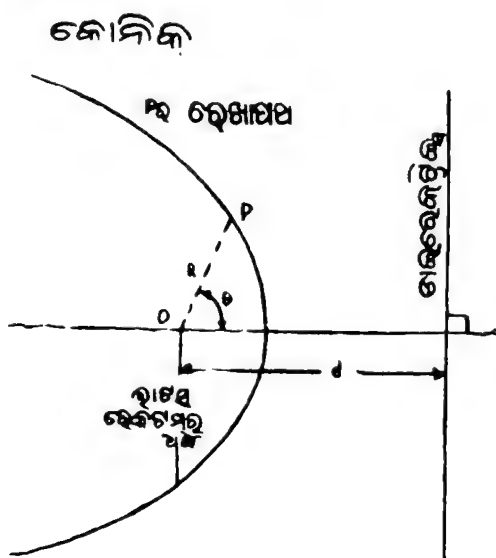
ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ 480 କି.ମି: ଉପରେ ଥିବା ଏକ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ପ୍ଲାଟଫର୍ମ (Space Platform) ରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟ (projectile) ଭୂସମାନ୍ତର ଦିଗରେ କେତେ ବେଗରେ ଛାଡ଼ା ଗଲେ ତାହା ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୁଲିବ ?

ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟଟି 480 କି.ମି: ଉପରେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲିବାକୁ ହେଲେ ସେହି ଉଚ୍ଚତାରେ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ (Gravitational force) କେନ୍ଦ୍ରାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ ସମ୍ବତ ସମାନ ହେବ—

$$\begin{aligned} F &= \frac{mV^2}{R+h} = \frac{GMm}{(R+h)^2} \quad \text{କିମ୍ବା} \quad V^2 = \frac{GM}{(R+h)} \\ \text{କିମ୍ବା} \quad V^2 &= \frac{6.67 \times 10^{-11} \text{ ନିଉଟନ-ମି}^2/\text{କି.ଗ୍ରା}^2 (5.97 \times 10^{24} \text{ କି.ଗ୍ରା})}{(6.37 \times 10^6 + 4.8 \times 10^5)} \\ &= 7.60 \text{ କି.ମି:}/\text{ସେ} \end{aligned}$$

## ୪ । ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷ ( Elliptic Orbits )

ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁ ଠାରୁ ଓ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସରଳରେଖା ଠାରୁ ଏକ ରେଖା ପଥର (locus) ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ଦୂରତାର ଅନୁପାତ ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ହେଲେ ସେହି ରେଖା ପଥକୁ କୋନିକ୍ କୁହାଯାଏ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁକୁ ଫୋକସ୍ (Focus) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସରଳ ରେଖାକୁ ଡାଇରେକ୍ଟ୍ରିକ୍ସ (Directrix) ଏବଂ ଧ୍ରୁବାଙ୍କକୁ ଇସେନ୍ଟ୍ରିସିଟି (eccentricity) କୁହାଯାଏ । ଚିତ୍ର (1.5) ରେ ଡାଇରେକ୍ଟ୍ରିକ୍ସ (Directrix) ଠାରୁ ରେଖା ପଥର ଦୂରତା  $=d-R \cos \theta$  ଏବଂ ଫୋକସ ଠାରୁ ରେଖା ପଥର ଦୂରତା  $=R$



ତେଣୁ ଇସେନ୍ଟ୍ରିସିଟି (eccentricity)

$$E = \frac{R}{d - R \cos \theta} \text{ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ} \quad (1.11)$$

ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାର କୋନିକ୍ ପାଇଁ ଇସେନ୍ଟ୍ରିସିଟିର ପରିମାଣ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ଯଥା—

1. ବୃତ୍ତ  $= \epsilon = 0$
2. ଉପବୃତ୍ତ  $0 < \epsilon < 1$

3. ପାରାବୋଲ  $\epsilon=1$

4. ହାଇପରବୋଲ  $\epsilon>1$

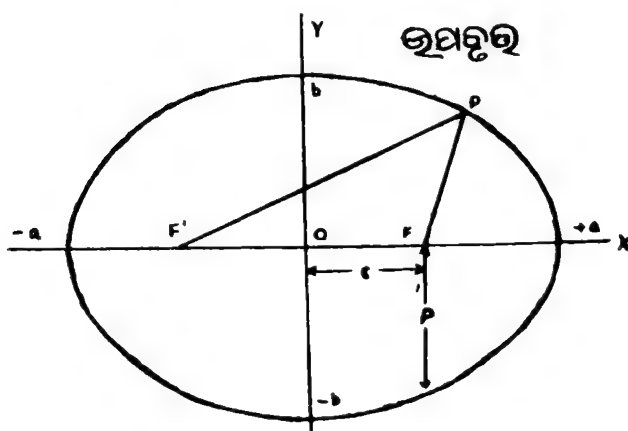
5. ସରଳରେଖା  $\epsilon=\infty$

ଯଦି କୌଣସି ଦୂର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁ ଠାରୁ ଏକ ରେଖା ପଥର ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ଦୂରତାର ସମଷ୍ଟି ସବୁବେଳେ ସମାନ ହୁଏ, ତେବେ ସେହି ରେଖା ପଥକୁ ଉପବୃତ୍ତ କୁହାଯାଏ । ଚାଷ (1.6) ରେ

$F^1P+PF=2a$  (ବୃହତ୍ତର କକ୍ଷର ଲମ୍ବା) ଦୂର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁକୁ ଫୋକସ (Focus) କୁହାଯାଏ । ଗୋଟିଏ ଉପବୃତ୍ତର ବୃହତ୍ତର ଅକ୍ଷର ମଧ୍ୟ ବିନ୍ଦୁ ଠାରୁ ଏକ ଫୋକସର ଦୂରତା ଓ ବୃହତ୍ତର ଅକ୍ଷାର୍ଦ୍ଧର ଅନୁପାତକୁ ଇସେନ୍ଟ୍ରସିଟି (Eccentricity) କୁହାଯାଏ ।

ଉପରେକ୍ତ ସର୍ତ୍ତରୁ (Condition) ସମକୋଣୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି (Rectangular Co-ordinate System) ରେ ଗୋଟିଏ ଉପବୃତ୍ତର ସମୀକରଣ (equation of an ellipse) ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1.12)$$



ଚାଷ (1.6)

ଯେଉଁଠାରେ  $x$  ଓ  $r$  ଉପବୃତ୍ତର ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ସ୍ଥାନାଙ୍କ,  $2a$  ଏବଂ  $2b$  ଉପବୃତ୍ତର ବୃହତ୍ତର କ୍ଷୁଦ୍ରତର ଅକ୍ଷର ଲମ୍ବା, ଏବଂ ବୃହତ୍ତର

ଅକ୍ଷର ମଧ୍ୟବିନ୍ଦୁ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିର କେନ୍ଦ୍ର । ଧ୍ରୁବୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ (Polar Co-ordinate System) ଉପବୃତ୍ତର ସମୀକରଣ (equation of an ellipse) ହେଲା—

$$r = \frac{P}{1 + e \cos \theta} \quad (1.13)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $P$  = ଲଟସ୍‌ରେକ୍ଟମ୍ (Latus-rectum) ର ଅର୍ଦ୍ଧ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ଫୋକସ ଧ୍ରୁବୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିର କେନ୍ଦ୍ର ।

## ୪ । କେପଲରଙ୍କ ନିୟମାବଳୀ ( Kepler's Laws )

ଜନ୍‌ସନ୍‌ସ୍ କେପଲର (Johnsons Kepler) ଗ୍ରହ ଓ ଉପଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତିବିଧି ଅନୁଧ୍ୟାନ କରି କେତେକ ନିୟମ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କର ନାମ ଅନୁସାରେ ସେହି ନିୟମଗୁଡ଼ିକୁ କେପଲରଙ୍କ ନିୟମ (Kepler's Laws) କୁହାଯାଏ । ତାପରେ ୧୬୮୭ ମସିହାରେ ନିଉଟନ୍ (Newton) ସୂଚାଇଲେ ଯେ ତାଙ୍କର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ନିୟମରୁ (Gravitational Laws) କେପଲରଙ୍କ ନିୟମର ନିଗମନ (Deduction) କରାଯାଇପାରେ । ଏହି କେପଲରଙ୍କ ନିୟମାନୁସାରେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନଗୁଡ଼ିକ ଗତି କରୁଛି । ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନରେ ପ୍ରଦତ୍ତ ହେଲା ।

ପ୍ରଥମ ନିୟମ—ସୌର ଜଗତର ଗ୍ରହଗୁଡ଼ିକ ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷରେ (elliptic orbit) ରେ ଗତି କରନ୍ତି ଏବଂ ସୂର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ କକ୍ଷର ଏକ ଫୋକସରେ ଅବସ୍ଥାନ କରିଥାଏ ।

ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ—ସୂର୍ଯ୍ୟ ଏବଂ ଗ୍ରହକୁ ଯୋଗ କରୁଥିବା ସରଳରେଖା ସମାନ ସମୟରେ ସମାନ କ୍ଷେତ୍ର (area) ଅବହସ୍ତ କରେ ।

ତୃତୀୟ ନିୟମ—ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟର ବର୍ଗ ସୂର୍ଯ୍ୟଙ୍କ ଠାରୁ ସେମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଦୂରତାର ଘନ ସହତ ଅନୁପାତକ ।

ଯଦି ହାରାହାରି ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳକୁ ଗ୍ରହର ହାରାହାରି କେନ୍ଦ୍ରାଭିମୁଖୀ (centripetal) ବଳ ସହତ ସମାନ ବୋଲି ଧରି ନିଅଯାଏ, ତେବେ କେପଲରଙ୍କ ତୃତୀୟ ନିୟମ ଅତି ସହଜରେ ନିଗମନ (deduction) କରାଯାଇପାରେ ।

$$\frac{GmM_s}{r^2} = mw^2r = \frac{4\pi^2mr}{T^2} \quad (1.14)$$

$$\text{ତେଣୁ } \frac{r^3}{T^2} = \frac{GM_s}{4\pi} = \text{ଧ୍ରୁବଙ୍କ} \quad (1.15)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $G$  ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଧ୍ରୁବଙ୍କ,  $m$  ଗ୍ରହର ବସ୍ତୁତ୍ୱ,  $M_s$  ସୂର୍ଯ୍ୟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ,  $r$  ସୂର୍ଯ୍ୟ ଓ ଗ୍ରହର ନିମ୍ନତମ ଓ ବୃହତ୍ତମ ଦୂରତାର ହାରାହାରି ଦୂରତା ଏବଂ  $T$  ଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ ।

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ଉପଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ 120 ଦିନେ, ତାହାର ବୃହତ୍ତମ ଅକ୍ଷର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ସମୀକରଣ (1.14) ରୁ ମିଳେ

$$r^3 = \frac{T^2 G M_e}{4\pi^2}$$

$$= (120 \times 60 \text{ ସେ})^2 \times (6.67 \times 10^{-11} \text{ ନିଉଟନ ମି}^2/\text{କି:ଗ୍ରା:}) \times$$

$$(5.97 \times 10^{24} \text{ କି:ଗ୍ରା:}) / 4\pi^2 = 5.11 \times 10^{20} \text{ ମି}^3$$

$$r = 7.99 \times 10^6 \text{ ମି} ।$$

## ୭ । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ଅବସ୍ଥିତି ( Position of a Satellite in Space )

ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ ଥିବା କୌଣସି ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଚରମ (absolute) ନୁହେଁ । ତେଣୁ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଅନ୍ୟ ଏକ ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଅନୁସାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଦର୍ଶକ (observer) ସହଜ ଗତି କରୁଥିବା ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି (co-ordinate system) ଅନୁସାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ଥାଏ ।

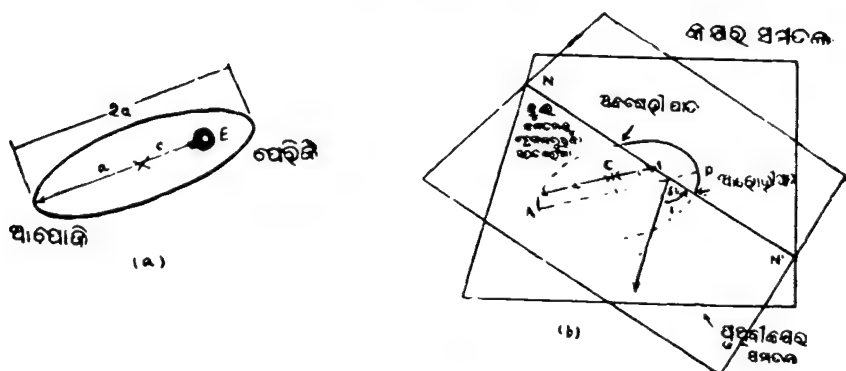
ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଛଡ଼ା ଯାଇଥିବା ଏକ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ଅବସ୍ଥିତି ଓ ଏହାର ଜାଣିବା ପାଇଁ ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତୋଟି ବିଷୟ ଜାଣିବା ଦରକାର—

୧ । କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ ।

୨ । ପେରିଜ (Perigee) କିମ୍ବା ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ନିମ୍ନତମ ଅବସ୍ଥିତି । ( ଚିତ୍ର (1.7-a) )

- ୩ । ଅପୋଜି (Apogee) କିମ୍ବା ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ଦୂରତମ ଅବସ୍ଥିତି । ( ଚିତ୍ର (1.7-a) )
- ୪ । ଉପଗ୍ରହର ଇସେନଟ୍ରିସିଟି ।
- ୫ । କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ କକ୍ଷର ସମତଳ ଓ ବସ୍ତୁର ଗୈରିକ ସମତଳ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କୋଣ ।
- ୬ । ଏହା ବ୍ୟତୀତ ଉପଗ୍ରହର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅବସ୍ଥିତି ଜାଣିବା ପାଇଁ ଅଭୋଜ୍ଞପାତ କୋଣ (angle of ascending node) ଏବଂ ଉପଗ୍ରହ କୋଣ (Angle of Perigee) ଜାଣିବା ଦରକାର । ( ଚିତ୍ର (1.7-b) )

### ଉପଗ୍ରହର ଗତି



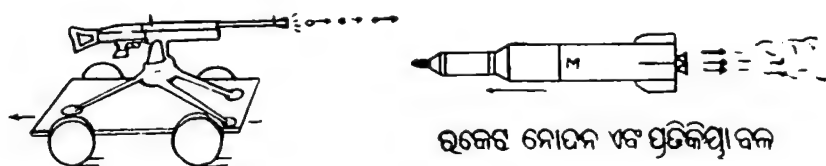
ଚିତ୍ର (1.7)

### ୭ । ରକେଟ ନୋଦନ ( Rocket Propulsion )

ରକେଟ୍ ମେସିନ (Machine) ନିଜ ସ୍ଥାନରେ ବୋହୁ ନେଉଥିବା ବସ୍ତୁକୁ ନିଷ୍କାସିତ କରି ନିଜକୁ ନିଜେ ନୋଦନ କରେ (Propels) । କୌଣସି ବାହକ (Carrier) ଉପରେ ରଖା ଯାଇଥିବା ଏକ ମେସିନ ଗନକୁ (Machine gun) ମଧ୍ୟ ଏକ ପ୍ରକାର ରକେଟ କୁହାଯାଇ ପାରେ । କାରଣ ମେସିନ ଗନରୁ ଗୋଲା ବର୍ଷଣ କରାଯିବା ସମୟରେ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ (Reaction force) ଯୋଗୁ ବାହକଟି ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗେ । ଯଦି ଗନରୁ ପ୍ରତି



ସେକେଣ୍ଡରେ  $n$  ଥର ଗୋଲା ବର୍ଷଣ କରାଯାଏ ଓ ପ୍ରତି ଗୋଲାର ବସ୍ତୁତ୍ବ  $m$  ଏବଂ ପରିବେଗ  $u$  ହୁଏ ତେବେ ପ୍ରତିନିମ୍ନ ବଳର ପରିମାଣ ହେଲା  $\frac{nm u}{t}$  ଏହି ବଳ ଯୋଗୁ ବାହକଟି ବିପରୀତ ଦିଗକୁ ଡ଼ରିବ ହେବାକୁ ଲାଗେ (ଚିତ୍ର (1.8) ଦେଖ) ।



ରକେଟ ମୋଡନ ଏବଂ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ

### ଚିତ୍ର (1.8)

ରକେଟ ଏକ ପ୍ରକାର ଅନ୍ତର୍ଦ୍ଧନ (Internal Combustion engine) ଇଂଜିନ୍ । ଦହନ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ସମସ୍ତ ଅମ୍ଳଜାନ ଏବଂ ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଦ୍ର (Chemical fuel) ରକେଟ ନିଜ ଫଗରେ ନେଇଥାଏ । ତେଣୁ ଏହା ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ବାହାରେ ମଧ୍ୟ ଯାଇପାରେ । ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଦ୍ର (Chemical fuel) ର ଦହନ (combustion) ପରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ଗ୍ୟାସ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦ୍ରୁତ ବେଗରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଏ । ଫଳରେ ରକେଟଟି ଆଗକୁ ଡ଼ରିବ (Accelerate) ହୁଏ । ଯଦି  $\Delta m$  ପରିମାଣର ଗ୍ୟାସ ରକେଟ ପ୍ରତି  $u$  ପରିବେଗରେ  $\Delta t$  ସମୟରେ ରକେଟରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଏ, ତେବେ ଫଗର (Momentum) ପରିବର୍ତ୍ତନର ହାର କିମ୍ବା ପ୍ରତିନିମ୍ନ ବଳ  $F$  ର ପରିମାଣ ହେଲା

$$F = u \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (1.16)$$

ତେଣୁ ରକେଟର ତ୍ୱରଣର (acceleration) ପରିମାଣ ହେଲା

$$f = \frac{F}{M} = \frac{u}{M} \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (1.17)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $M$  ରକେଟର ବସ୍ତୁତ୍ବ,

ଉଦାହରଣ—

$5 \times 10^4$  କି:ଗ୍ରା: ଓଜନର ଗୋଟିଏ ରକେଟ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରୁ ଭୁଲମ୍ବ ଭାବରେ ଉପରକୁ ଉଠିବାକୁ ଲାଗିଲା । ଯଦି 500 କି:ଗ୍ରା: ଓଜନର ଗ୍ୟାସ ରକେଟ ଇତରୁ ସେକେଣ୍ଡ ପ୍ରତି 2000 ମିଟର ବେଗରେ ବାହାରି ଆସେ ତେବେ 0, 20 ଓ 40 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ରକେଟର ତ୍ୱରଣ (acceleration) କେତେ ହେବ ?

ସମୀକରଣ (1.16) ରୁ ଅମେ ପାଉଁ

$$F = u \frac{\Delta m}{dt} = 2000 \text{ ମି:} \times 500 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \\ = 10 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

ଏହି ଉତ୍ସର୍ଗୁଣୀ ବଳର ପରିମାଣ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ ଯୋଗୁ ହ୍ରାସ ହୋଇଯାଏ । ଯଦି 0, 20 ଓ 40 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳର ପରିମାଣ  $f_0$ ,  $f_{20}$  ଏବଂ  $f_{40}$  ହୁଏ, ତେବେ

$$f_0 = 5 \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times 9.8 \text{ ମି:} \\ = 49 \times 10^4 = 4.9 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$f_{20} = (5-1) \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times 9.8 \text{ ମି:} \\ = 3.92 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$f_{40} = (5-2) \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times 9.8 \text{ ମି:} \\ = 2.94 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

ତେଣୁ 0, 20, 40 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ଉତ୍ସର୍ଗୁଣୀ ବଳ ଓ ତ୍ୱରଣର ପରିମାଣ ହେଲା

$$F_0 = F - f_0 = 5.1 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$F_{20} = F - f_{20} = 6.08 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$F_{40} = F - f_{40} = 7.06 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$a_0 = \frac{F_0}{m_0} = \frac{5.1 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}}{5 \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:}} = 10.2 \text{ ମି/ସେ}^2$$

$$a_{20} = \frac{6.08 \times 10^5}{4 \times 10^4} = 15.2 \text{ ମି/ସେ}^2$$

$$a_{40} = \frac{7.06 \times 10^5}{3 \times 10^4} = 23.5 \text{ ମି/ସେ}^2$$

୮ । ରକେଟର ଛୁନି ବା ଦଗ୍ଧୀଭୂତ ପରିବେଗ ( Cut off or burnout velocity )

ଅନ୍ତଃସ୍ତରେ ରକେଟର ପରିବେଗ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ନିଜ ଦେହରେ ଗଢ଼ିତ ଥିବା ଇନ୍ଜନର ପରିମାଣ ହ୍ରାସ ହୋଇଯାଏ । ରକେଟରେ

ଗଠିତ ଥିବା ସମସ୍ତ ଇଞ୍ଜନ ଶେଷ ହେବା ସମୟରେ ରକେଟଟି ଯେଉଁ ପରିବେଗରେ ଯାଉଥାଏ, ତାହାକୁ କ୍ରିନ୍ ପରିବେଗ (Cut off Velocity) କୁହାଯାଏ । ଏକ ରକେଟର ଗତିପଥର ନିର୍ଭୁଲତା (accuracy) ଓ ଦକ୍ଷତା (efficiency) ଏହି କ୍ରିନ୍ ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ।

ଏହି କ୍ରିନ୍ ପରିବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ମନେକର ଗୋଟିଏ ରକେଟ ଭୂସ୍ପର୍ଶରୁ ଭୂଲମ୍ବ (vertically) ଭାବରେ ସରଳରେଖାରେ ଉପରକୁ ଉଠିବାକୁ ଲାଗିଲା । ତେବେ ଯେ କୌଣସି ସମୟରେ ଉର୍ଦ୍ଧ୍ୱମୁଖୀ ବଳ-ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ = ରକେଟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ  $\times$  ତ୍ୱରଣ

$$\text{କିମ୍ବା } -\bar{v}_e = \frac{dm}{dt} - mg = m \frac{dv}{dt} \quad (1.18)$$

ଏଠାରେ ସମୟ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ  $m$  ହ୍ରାସ ହେଉଥିବା ଯୋଗୁ ଉର୍ଦ୍ଧ୍ୱମୁଖୀ ବଳକୁ ନେଗେଟିଭ କରାଗଲା ।

ଯେଉଁଠାରେ  $\bar{v}_e$  = ନିଷ୍କାସିତ ଗ୍ୟାସର ହାରାହାରି ପରିବେଗ

$m$  = ରକେଟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ

$\bar{g}$  = ହାରାହାରି ମହାକର୍ଷଣୀୟ ତ୍ୱରଣ

$v$  = ରକେଟର ପରିବେଗ

ଯଦି  $t_b$  ସମୟରେ ରକେଟର ଇଞ୍ଜନ ଶେଷ ହୋଇଯାଏ ଓ ସେହି ସମୟରେ ରକେଟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ  $m_b$  ଓ ପରିବେଗ  $u_b$  ହୁଏ, ତେବେ ସମୀକରଣ (1.18) ରୁ ସମାକଳନ (Integrate) କରି ଆମେ ପାଉଁ

$$\int_0^{u_b} dv = -\bar{v}_e \int_{m_0}^{m_b} \frac{dm}{m} - \bar{g} \int_0^{t_b} dt$$

$$\text{କିମ୍ବା } U_b = -\bar{v}_e [\log m_b - \log m_0] - \bar{g} t_b$$

$$= \bar{v}_e \log \frac{m_0}{m_b} - \bar{g} t_b \quad (1.19)$$

## ୯ । ବହୁ ସ୍ତର ରକେଟ (Multi Stage Rocket)

ରକେଟ ନିଜ ସ୍ତରରେ ତାର ଇଞ୍ଜନ ଓ ଅମ୍ଳଜାନ ବୋତ୍ଲ ନେଉଥିବାରୁ ତାର ଆକାର ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ । ଇଞ୍ଜନର ବୃଦ୍ଧି ଅଂଶ ସହ ଆସିବା ପରେ ରକେଟ ଭିତରେ ଯେଉଁ ଶୂନ୍ୟ ଅଂଶ ରହୁଥାଏ, ତାହା ରକେଟ

ନୋଦନ (Propulsion) ପାଇଁ ଦରକାରରେ ଆସେ ନାହିଁ । ବରଂ ତାହା ରକେଟର ତ୍ୱରଣ (acceleration) ଦ୍ରାଘ କରିଦିଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ, ବର୍ତ୍ତମାନ ରକେଟ ନୋଦନ ପାଇଁ ଯେଉଁ ଇଞ୍ଜନ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଛି, ତାହା ଦ୍ୱାରା ଏକ ସ୍ତର ରକେଟର ପରିବେଗ  $7.62$  କି:ମି:/ସେ ରୁ ବେଶୀ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ରକେଟର ପରିବେଗ  $7.62$  କି:ମି:/ସେ ରୁ ବେଶୀ ନ ହେଲେ ତାହା ଏକ ସାଠେଲାଇଟକୁ କକ୍ଷରେ ରଖି ପାରିବ ନାହିଁ କି ପୃଥିବୀର ମହା-କର୍ଷଣୀୟ କ୍ଷେତ୍ର (gravitational field) କୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ପାରିବ ନାହିଁ ।

ଏହି ଅସୁବିଧା ଦୂର କରିବା ପାଇଁ ବହୁ ସ୍ତର ରକେଟର ଉଦ୍ଭାବନ ହେଲା । ଏହା ଭିତରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଭାଗ (Section) ଥାଏ । ପ୍ରତି ବିଭାଗ ଅନ୍ୟଠାରୁ ପୃଥକ ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକରେ ରକେଟ ନୋଦନ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଇଞ୍ଜନ ଓ ଅକ୍ସିଜେନ ଥାଏ । ରକେଟର ନୋଦନ ହେବାର ବହୁ ସମୟ ପରେ ଯେତେବେଳେ ପ୍ରଥମ ବିଭାଗରୁ ଇଞ୍ଜନ ସରିଯାଏ, ପ୍ରଥମ ବିଭାଗଟି ରକେଟରୁ ଅଲଗା ହୋଇଯାଏ । ତେଣୁ ରକେଟଟି ହାଲୁକା ହୋଇଯାଏ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ବିଭାଗରେ ଥିବା ଇଞ୍ଜନ ଦ୍ୱାରା ଏହା ଅଧିକ ତ୍ୱରିତ ହୋଇପାରେ । ଏହିପରି ଭାବରେ ୩ ସ୍ତର ରକେଟ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଛି । ବିନ୍ଦୁ ବହୁସ୍ତର ରକେଟ ଉଦ୍ଭାବି କରିବା ବଡ଼ ଜଟିଳ ।

## ୧୦ । ରକେଟ ପାଇଁ ଇଞ୍ଜନ (Fuel for rocket)

ବର୍ତ୍ତମାନ ରକେଟ ସବୁ ପ୍ରାୟ ରାସାୟନିକ ଇଞ୍ଜନ (Chemical fuel) ସାହାଯ୍ୟରେ ଚାଲୁଛି । ( ଛାନ୍ଦ (1.9-a, b) ) । ଏହାବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ କେତେ ଉପାୟରେ ରକେଟ ନୋଦନ କରିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରାଯାଉଛି ଓ ଅନ୍ୟ କେତେକର କଳ୍ପନା ମଧ୍ୟ କରାଯାଉଛି । ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତୋଟି ତଳେ ଦିଆଗଲା—

(1) ନିଉକ୍ଲିୟାର (Nuclear reaction) ପ୍ରକ୍ରିୟା ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସାରେ ଆଇସୋଟୋପ ସମୂହ ବିମ୍ବା ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା କୌଣସି ଇଞ୍ଜନକୁ ଉତ୍ତପ୍ତ କରି ରକେଟ ଦେହରୁ ନିଷ୍କାସନ କରି ଦିଆଯାଇ ରକେଟ ନୋଦନ କରାଯାଏ ।

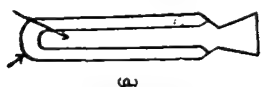
(2) ଆୟୁନ ନୋଦନ ପ୍ରଣାଳୀ (Ion propulsion method) ଅନୁସାରେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ଗ୍ୟାସ ଆୟୁନ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଏ । ତାହାକୁ

ଉତ୍ପନ୍ନ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ସେଷ ଦ୍ଵାରା ଚାଲି କରାଯାଇ ନିଷ୍କାସନ କରି ଦିଆଯାଏ । ( ଚିତ୍ର (1.9-c) )

(3) ଅର୍କ ତାପନ ପ୍ରଣାଳୀ (Arc heating method) ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଶକ୍ତି ଦ୍ଵାରା ଅର୍କ ସୃଷ୍ଟି କରି କୌଣସି ପଦାର୍ଥକୁ ଉତ୍ତପ୍ତ ଗ୍ୟାସରେ ପରିଣତ କରି ବାହାର କରି ଦିଆଯାଏ । ( ଚିତ୍ର (1.9-d) )

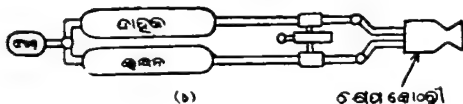
(4) ମାଗ୍ନେଟୋପ୍ଲାଜ୍ମା ନୋଦନ ପ୍ରଣାଳୀ (Magnetoplasma Propulsion method) ଦ୍ଵାରା କୌଣସି ଗ୍ୟାସକୁ ଉତ୍ତପ୍ତ କରି ପ୍ଲାଜ୍ମାରେ ପରିଣତ କରାଯାଏ ଓ ଉତ୍ପନ୍ନ ତୁମ୍ବକ ସେଷ ଦ୍ଵାରା ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ରକେଟ ଦେହରୁ ନିଷ୍କାସିତ କରାଇ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଏ । ( ଚିତ୍ର (1.9-e) )

କ୍ରମିକ ମୋଡନ



(a)

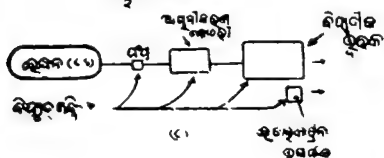
ଫ୍ଲୁଇଡ୍ ମୋଡନ



(b)

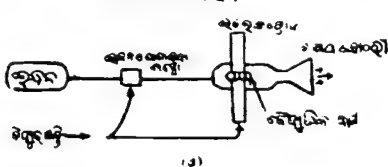
ଫ୍ଲୁଇଡ୍ ମୋଡନ

ଆୟନ ମୋଡନ



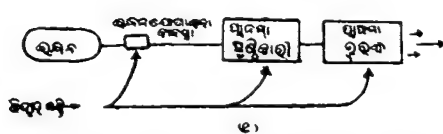
(c)

ଆୟନ ମୋଡନ



(d)

ମାଗ୍ନେଟୋପ୍ଲାଜ୍ମା ମୋଡନ



(e)

ରକେଟରେ ବ୍ୟବହାର ଚାହୁଁଥିବା, ବ୍ୟବହାର ପାଇଁ  
କଳ୍ପନା କରାଯାଉଥିବା ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାର ମୋଡନର ଚିତ୍ର

ଯେଉଁ ରକେଟ୍ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ସାହାଯ୍ୟରେ ନୋଡିଡ ହୁଏ, ସେଥିରେ ପ୍ରଚୁର ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ଗଚ୍ଛିତ କରି ରଖିବା ପାଇଁ ତାର ବସ୍ତୁତ୍ବ ବେଶୀ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ରାସାୟନିକ ନୋଦକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଥିବା ରକେଟ୍ ହାଲୁକା ହୋଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ରକେଟର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀତା ତାର ଅପେକ୍ଷିକ ଅବେଗ (Specific impulse) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ ଓ ସେକେଣ୍ଡରେ ଖର୍ଚ୍ଚ ହେଉଥିବା ନୋଦକର ବସ୍ତୁତ୍ବର ଅନୁପାତକୁ ଅପେକ୍ଷିକ ଅବେଗ (Specific impulse) କୁହାଯାଏ । ସାଧାରଣତଃ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତିର ରକେଟର ଅପେକ୍ଷିକ ଅବେଗର ପରିମାଣ ବେଶୀ । କିନ୍ତୁ ରାସାୟନିକ ରକେଟ୍ ହାଲୁକା । ତେଣୁ ଏହାର ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ବର ଅନୁପାତ ବେଶୀ । ସେଥିପାଇଁ ଏହା ଶୀଘ୍ର ଦୂରୀତ ହୋଇପାରେ ।

ପ୍ରକାଶର ପର୍ଯ୍ୟାୟ ପାଇଁ ରବିବ୍ୟାସରେ ଯେଉଁ ରକେଟ୍ ଚାଲି ହେବ, ତାହା ପ୍ରଥମେ ରାସାୟନିକ ନୋଦକ ଦ୍ବାରା ଦୂରୀତ ହେବ । ଅନ୍ତରାକ୍ଷରେ ଯାତାୟତ ପାଇଁ ରକେଟର ଦୂରଣ ବିଶେଷ ଦରକାର ନ ଥିବାରୁ ପାର୍ବସ୍ଥାୟୀ ଉଚ୍ଚ ଅପେକ୍ଷିକ ଅବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟାର ନୋଦକ ବ୍ୟବହାର କରାଯିବ ।

## ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟ୍ ତାର କକ୍ଷର କେଉଁଠାରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ବେଗ ନିମ୍ନତମ ?
2. ପୃଥିବୀର ଯେ କୌଣସି ଦ୍ରାଘିମା (Longitude) ଏକ ସାଟେଲାଇଟର କକ୍ଷ ହୋଇ ପାରିବ କି ନାହିଁ ଏବଂ କାହିଁକି ?
3. ପୃଥିବୀର ଯେ କୌଣସି ଅକ୍ଷାଂଶ ଏକ ସାଟେଲାଇଟର କକ୍ଷ ହୋଇ ପାରିବ କି ନାହିଁ ଏବଂ କାହିଁକି ?
4. ପୃଥିବୀ ଜୁଲାଇ ମାସରେ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ସବୁଠାରୁ ଦୂରରେ ଅବସ୍ଥାନ କରେ । ତେଣୁ ଦକ୍ଷିଣ ଗୋଲାର୍ଦ୍ଧର ଶୀତ ଋତୁ ଉତ୍ତର ଗୋଲାର୍ଦ୍ଧ ଭୂଲଗାରେ ଅଧିକ ଲମ୍ବା । କେପଲରଙ୍କ ଦ୍ବିତୀୟ ନିୟମାନୁସାରେ ଏହା ସତ୍ୟକୁ ପ୍ରତିପାଦନ କର ।

5. ଯଦି ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ସହଜ ଘର୍ଷଣ ଯୋଗୁ ସାଟେଲାଇଟର ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ହୁଏ, ତେବେ ବୁଝାଇ ଦିଅ କିପରି ଏକ ସାଟେଲାଇଟ ଘର୍ଷଣ ଯୋଗୁ ଅଧିକ ପରିବେଶରେ ପୃଥିବୀର ନିକଟତର କକ୍ଷରେ ବୁଲେ ।
6. କୌଣସି ସାଟେଲାଇଟ ପୃଥିବୀ ଗୁଡ଼ିପାଖେ ବୁଲି ବୁଲି ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠକୁ ଅସିପାରେ ନାହିଁ, ବାଟରେ ଜଳିଯାଏ । କିନ୍ତୁ ଏହା ବୁଲି ବୁଲି ପୃଥିବୀଠାରୁ ଦୂରକୁ ଚାଲି ଯାଇପାରେ କାହିଁକି ?
7. ଦୁଇଟି ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ ପୃଥିବୀ ଗୁଡ଼ିପାଖେ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଛନ୍ତି । ଏହି ବୁଲୁଥିବା ଦୁଇଟି ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ A ଓ B ରୁ A ରେ ଥିବା ଏକ ମହାକାଶ ଯାତ୍ରୀ (Astronaut) ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ B କୁ କିପରି ଯାଇ ପାରିବ ?
8. ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟରେ ଯଦି ଏକ ସୋଲ ଖଣ୍ଡକୁ ପାଣିରେ ବୁଡ଼ାଇ ଦିଆଯାଏ ତାହା ଭାସିବ ନା ବୁଡ଼ିବ ?
9. ପ୍ଲାଜମାର ନିଉକ୍ଲିୟାର ସଂଯୋଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିକୁ ଯଦି ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ କରାଯାଇପାରେ ତେବେ ଏହା ଦ୍ଵାରା ରକେଟ ନୋଡ଼ିତ କରାଯାଇ ପାରିବାର ସମ୍ଭାବନା ଅଛି କି ?
10. ଯଦି ଚନ୍ଦ୍ରର ବ୍ୟାସ ପୃଥିବୀ ବ୍ୟାସର ଗୁଡ଼ିଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ ହୁଏ ଏବଂ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଭାରଣ ପୃଥିବୀର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଭାରଣର ଏକ ପଞ୍ଚମାଂଶ ହୁଏ, ତେବେ ଚନ୍ଦ୍ରର ବସ୍ତୁତ୍ଵ କେତେ ? ( $\frac{1}{5}$  ପୃଥିବୀର ବସ୍ତୁତ୍ଵ)
11. ଯଦି ଚନ୍ଦ୍ରର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯାଏ ଏବଂ ତାହାର କକ୍ଷର ପରିବର୍ତ୍ତନ ନ ହୁଏ, ତେବେ ଚନ୍ଦ୍ରର ପରିକ୍ରମଣର ସମୟ କେତେ ହେବ ?
12. ମନେକର ପୃଥିବୀ  $150 \times 10^6$  କି:ମି: ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଗୁଡ଼ିପାଖରେ 30 କି:ମି: ବେଗରେ ବୁଲେ, ତେବେ ପୃଥିବୀର ସୂର୍ଯ୍ୟ ଆଡ଼କୁ ଭାରଣ କେତେ ? ଏହି ଭାରଣରୁ ସୂର୍ଯ୍ୟର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
13. ଯଦି ବୁଧ (Mercury) ଗୁରୁ (Venus) ମଙ୍ଗଳ (Mars), ବୃହସ୍ପତି ପ୍ରଭୃତି ଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ ଯଥାକ୍ରମେ 0.741, 0.617, 1.88 ଏବଂ 11.9 ବର୍ଷ ହୁଏ, ତେବେ ସେମାନଙ୍କର ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ଦୂରତା

ଖଗୋଳୀୟ ଏକକ (Astronomical Unit) ରେ ପ୍ରକାଶ କର  
(ଖଗୋଳୀୟ ଏକକ = ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ପୃଥିବୀର ଦୂରତା) (0.39, 0.72,  
1.52, 5.2) ।

14. ବୃହସ୍ପତି (Jupiter) ର ଏକ ସାଟେଲାଇଟର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ 16.7  
ଦିନ ଏବଂ କକ୍ଷର ଦ୍ଵାରାଦ୍ଵାରା ବ୍ୟାସ ବୃହସ୍ପତି ବ୍ୟାସର 27 ଗୁଣ । ଯଦି  
ବୃହସ୍ପତିର ବ୍ୟାସ  $7.4 \times 10^4$  କି:ମି: ହୁଏ, ତେବେ ତାହାର ବସ୍ତୁତ୍ଵ  
କେତେ ?
15. ପୃଥିବୀର ଦୂର୍ଦ୍ଧିନ ଯୋଗୁଁ ବିଷୁବରେଖା ଉପରେ ଅବସ୍ଥିତ ଏକ ସ୍ଥାନ  
ଦିନକୁ 1600 କି:ମି: ବେଗରେ ଗତିକରେ । ଯଦି ବୃହସ୍ପତିର ବ୍ୟାସ  
ପୃଥିବୀ ବ୍ୟାସର 11 ଗୁଣ ହୁଏ, ତେବେ ବୃହସ୍ପତିର ବିଷୁବରେଖା ଉପରେ  
ଅବସ୍ଥିତ ଏକ ବିନ୍ଦୁର ବେଗ କେତେ ?
16. ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ  $\propto \frac{1}{r^2}$  ହେଲେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ (a) ବୃତ୍ତାକାର  
କକ୍ଷରେ ଚାଲୁଥିବା ଏକ ସାଟେଲାଇଟର ସରଳ ବୈଶିକ ପରିବେଗ  
 $V = R \left( \frac{g_0}{R} \right)^{\frac{1}{2}}$  (ଯେଉଁଠାରେ  $R$  = ପୃଥିବୀର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ) (b) ଯଦି  
ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ  $R$  ଦୂରରେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ଚାଲିବା ପାଇଁ  
ଏକ ସାଟେଲାଇଟର ସରଳ ବୈଶିକ ପରିବେଗ  $V_0$  ହେବା ଦରକାର  
ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ—

$$V_0 = (g_0 R)^{\frac{1}{2}} = V \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- (c) ଯଦି ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ  $T$  ହୁଏ, ତେବେ  
ପ୍ରମାଣ କର—

$$T = \left( \frac{2\pi r}{V} \right) \left( \frac{2\pi}{R g_0^{\frac{1}{2}}} \right) r^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{ଏବଂ } V = g_0^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^{\frac{1}{2}}$$

17. ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟ ପୃଥିବୀଠାରୁ କେତେ ଉଚ୍ଚରେ ପରିକ୍ରମଣ  
କଲେ ତାହା ବିଷୁବରେଖା ଉପରେ ଅବସ୍ଥିତ ଏକ ସ୍ଥାନ ଉପରେ  
ସବୁବେଳେ ରହୁଥିବ ?



18. ପୂର୍ବ ବିନ୍ଦୁ ପଶ୍ଚିମ ଦିଗକୁ ନିକ୍ଷେପ କରାଯାଇଥିବା ଏକ ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟ (Projectile) ଉପରେ ପୃଥିବୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର କି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼େ ?
19. ଗୋଟିଏ ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠ ପ୍ରତି କେତେ ଅପେକ୍ଷିକ ବେଗରେ ଭୂସମାନ୍ତର ଦିଗରେ (Horizontally) ନିକ୍ଷେପ କରାଗଲେ ତାହା ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ପୃଥିବୀ ଗୁଡ଼ିପାଖରେ ବୁଲିବ ?
20. ପ୍ରମାଣ କର, ଭୁଲମ୍ବ ଭାବରେ ଭିତକୁ ଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ରକେଟର ବେଗ ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ଯୋଗୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ସେକେଣ୍ଡକୁ ଘଣ୍ଟାକୁ 32 କି:ମି: ପରିମାଣରେ ହ୍ରାସ ହୁଏ ।
21. ଗୋଟିଏ ଦୁଇସ୍ତର ବିଶିଷ୍ଟ ରକେଟର ପ୍ରଥମ ଦ୍ଵିତୀୟ ସ୍ତରର ଇନ୍ଦନ ଶେଷ ହେବା ସମୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ଵର ଅନୁପାତ ଯଦି ଯଥାକ୍ରମେ  $R_1$  ଏବଂ  $R_2$  ଓ ଉତ୍ତମ ସ୍ତରରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗ୍ୟାସର ପରିବେଗ  $V_e$  ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଛୁନୁ ପରିବେଗ (burnout velocity)  $V_b = V_e \log R_1 R_2$  ।
22. ଯଦି  $9.1 \times 10^3$  କି:ଗ୍ରା: ବସ୍ତୁତ୍ଵ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ରକେଟ  $1.3 \times 10^8$  ମି/ସେ ବେଗରେ ଓ 150 କି:ଗ୍ରା:/ସେ ପରିମାଣର ବସ୍ତୁତ୍ଵର ଗ୍ୟାସ ନିର୍ଦ୍ଦାୟନ କରେ ତେବେ (a) ରକେଟ ଉପରେ ପ୍ରତିନିୟା ବଳର ପରିମାଣ କେତେ ? (b) ଯଦି 20 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ରକେଟର ଇନ୍ଦନ ଶେଷ ହୋଇଯାଏ ଓ ରକେଟଟି ଭୁଲମ୍ବ ଭାବେ ଯାଉଥାଏ, ତେବେ ଛୁନୁ ପରିବେଗ (Burnout Velocity) ର ପରିମାଣ କେତେ ?



# ଦ୍ଵିତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ

## ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ଵ

( Theory of Relativity )

ବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ପ୍ରଥମ ଭାଗରେ ଆଲବାର୍ଟ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ ଆଧୁନିକ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ଵର ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ଵ ସପ୍ତଦଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଆଇଜାକ୍ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ପ୍ରଚ୍ଛନ୍ନ ଗତିତତ୍ତ୍ଵକୁ କେତେକାଂଶରେ ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କଲା । ବିଶ୍ଵର କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ଚରମ ଅବସ୍ଥିତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାକୁ ହେଲେ ଦ୍ଵିପରିସର ଯୁକ୍ତ ବିସ୍ତୃତି (Three dimensional space) ଯଥେଷ୍ଟ ନୁହେଁ । ସମୟକୁ ଏକ ପରିସର ଭାବେ ଗ୍ରହଣ କଲେ ବିଶ୍ଵର ସମୟ-ସ୍ଥିତି ଜନିତ ପ୍ରକୃତି ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ଵ ଅନୁଯାୟୀ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ବେଗ ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ଵରୁ ପ୍ରମାଣ କରାଯାଇପାରେ ଯେ ବସ୍ତୁ ଓ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ପ୍ରଭେଦ ନାହିଁ । ବସ୍ତୁ ବିନାଶ ହେଲେ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ ଓ ଶକ୍ତି ବିନାଶ ହୋଇ ବସ୍ତୁରେ ପରିଣତ ହୋଇପାରେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ଵର ଗାଣିତିକ ସୂତ୍ର ବଡ଼ ଜଟିଳ । ତେଣୁ ଏଠାରେ ସେ ସବୁ ସୂତ୍ରର ଆଲୋଚନା ନ କରି ଯେଉଁ କେତୋଟି ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ଵାରା ଏହି ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ଵ ଉଦ୍ଭାବନ ହୋଇ ପାରିଲା, ସେହି ପରୀକ୍ଷା ଓ ସେଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ସତ୍ୟତା ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

### ୧ । କାଲ୍ୟାଣିକ ଇଥର

ଆମେ ଜାଣୁ ଆଲୋକ ଏକ ପ୍ରକାର ଶକ୍ତି ଓ ଏହା ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିବେଶରେ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ସରଳରେଖାରେ ଗତି କରିପାରେ । ଏହା ସୂର୍ଯ୍ୟ ଠାରୁ ପୃଥିବୀକୁ ଆସିବାକୁ ପ୍ରାୟ ୫ ମିନିଟ୍ଟ ନିଏ । ଆଲୋକ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ପୃଥିବୀକୁ ଇପରି ଆସେ ବା ଆଲୋକ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଇପରି ଯାଏ, ଏହି ବିଷୟ ବିଶ୍ଵର କଲବେଲେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ରଶ୍ନ ମନରେ

ଉଦାହରଣ : ଯଥା—ଅଲୋକ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଗତି କରିବା ସମୟରେ ଶକ୍ତି କିପରି ଓ କେଉଁଠାରେ ଗଢ଼ିତ ହୋଇ ରହେ ଓ କାହାଦ୍ୱାରା ଏହି ଶକ୍ତି ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଯାଏ ? ଏହିସବୁ ପ୍ରଶ୍ନର ସମାଧାନ କରିବାକୁ ଯାଇ ନିଉଟନ୍ ପ୍ରଥମେ ଅଲୋକର ତତ୍ତ୍ୱ (Theory) ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଆପ୍ତ ବସ୍ତୁ (Luminous body) ଦେହରୁ ପ୍ରତି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦିଗକୁ ଅସଂଖ୍ୟ ଆପ୍ତ କଣିକା (Luminous corpuscles) ଉତ୍ସର୍ଜିତ ହେଉଥାଏ । ଏହି ଆପ୍ତ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ  $3 \times 10^{10}$  ସେ:ମି: ପରିବେଗରେ ଗତି କରନ୍ତି । ଏହାକୁ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ କଣିକା ତତ୍ତ୍ୱ କହନ୍ତି । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ସାଦୃଶ୍ୟରେ ଅଲୋକର କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଧର୍ମ ଅତି ସହଜରେ ବୁଝାଇ ଦିଆଯାଇଛି । କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଧର୍ମ ବୁଝାଇ ଦେଲା ନାହିଁ । ସେଗୁଡ଼ିକରୁ କେତେକ ହେଲା ବ୍ୟତିକରଣ (Interference), ବିବର୍ତ୍ତନ (Diffraction) ଏବଂ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ (Polarisation) ପ୍ରକ୍ରିୟା ।

ଏହି ଧର୍ମଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ହାଇଜେନସ (Huygens) ପ୍ରକାଶ କଲେ, ଯେପରି ଧୂଳି ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ତରଙ୍ଗ ସାଦୃଶ୍ୟରେ ଯାଇପାରେ ସେହିପରି ଅଲୋକ ତରଙ୍ଗ ସାଦୃଶ୍ୟରେ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଯାଇପାରେ । ଏହାକୁ ଅଲୋକର ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ କହନ୍ତି । ଏହା ସାଦୃଶ୍ୟରେ ବ୍ୟତିକରଣ, ବିବର୍ତ୍ତନ ଓ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସହଜରେ ବୁଝାଯାଇ ପାରିଲା; କିନ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପ୍ରବାହ ପାଇଁ ଏକ ମାଧ୍ୟମ ଆବଶ୍ୟକ । ତେଣୁ ସେ ଇଥର (Ether) ନାମକ ଏକ ମାଧ୍ୟମର କଲ୍ପନା କଲେ । ତାଙ୍କ କଲ୍ପନା ଅନୁସାରେ ଇଥର ସବୁଆଡ଼େ, ସବୁ ପଦାର୍ଥ ଭିତରେ ଓ ମହାଶୂନ୍ୟରେ ମଧ୍ୟ ପୂର୍ବ ରହୁଛି ଓ ଇଥର କମ୍ପନ ସାଦୃଶ୍ୟରେ ଅଲୋକ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଗତି କରିଥାଏ । ନିମ୍ନେ ବିଶ୍ୱର ଅନ୍ୟ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱକୁ ମାନିନେଲେ । ପରେ ମାକ୍ସୱେଲ୍ (Maxwell), ହାର୍ଟ୍ଜ୍ (Hertz) ପ୍ରମୁଖ ପଦାର୍ଥ ବିଦ୍ୟାବିତ୍ ଇଥର ତତ୍ତ୍ୱକୁ ସ୍ୱୀକାର କରି ଅଲୋକର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତତ୍ତ୍ୱ (Electromagnetic theory) ପ୍ରକାଶ କଲେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଅଲୋକ, ତାପ, ବେତାର, ଅଲଟ୍ରାଭାୟୋଲେଟ ରଶ୍ମି, ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି, ଗାମା ରଶ୍ମି ପ୍ରଭୃତି ପ୍ରତ୍ୟେକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ (Electro-magnetic

Waves) ଅଟନ୍ତି ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ ସେକେଣ୍ଡକୁ 186280 ମାଇଲ ପରିବେଗରେ ଗତି କରନ୍ତି ।

ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଏହି କାଳ୍ପନିକ ଇଥର ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ଜାଣିବା ପାଇଁ ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଷୟର ସମାଧାନ ପଦ୍ଧତି ସାହାଯ୍ୟରେ ଜାଣିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ ।

(୧) ପଦ୍ମସାରୁ ଜଣାଯାଏ ଅଲୋକର ପରିବେଗ ବିଭିନ୍ନ ମାଧ୍ୟମରେ ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ ମାଧ୍ୟମର ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଇଥର କମ୍ପନକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିବା ସ୍ୱାଭାବିକ । ତାହେଲେ ବିପରି ଭାବରେ ମାଧ୍ୟମର ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଇଥରର କମ୍ପନକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରନ୍ତି ?

(୨) ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ଇଥର ସମୁଦ୍ରରେ ଗତିକଲ ସମୟରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଭିତରେ ଥିବା ଇଥରକୁ ନିଜ ସଙ୍ଗରେ ବୋହୁ ନିଅନ୍ତି, କିମ୍ବା ଇଥର ପଦାର୍ଥ-ଗୁଡ଼ିକ ଭିତର ଦେଇ ବିନା ବାଧାରେ ବୋହୁ ଯାଏ ?

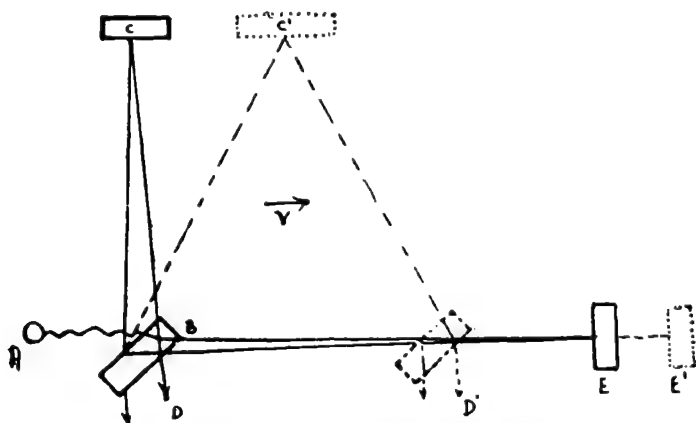
(୩) ଇଥର ପୃଥିବୀ, ଗ୍ରହ ଓ ଉପଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତିରେ ବାଧା ସୃଷ୍ଟି କରେ କି ନାହିଁ ?

(୪) ଅଲୋକର ପରିବେଗ ଇଥର ତୁଳନାରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କି ନୁହେଁ ? ଯଦି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ, ତେବେ ଅଲୋକର ଆଭାସୀ ପରିବେଗ (Apparent Velocity) ଅନ୍ୟ ଗତିଶୀଳ ପଦାର୍ଥ ତୁଳନାରେ ପରମ ପରିବେଗ (Absolute Velocity) ଠାରୁ ଭିନ୍ନ ହେବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ମନେକର ଗୋଟିଏ ଯାନ ଏକ ସେକେଣ୍ଡରେ 86,000 ମାଇଲ ବେଗରେ ଗତି କରୁଛି ଏବଂ ଅଲୋକ ରଶ୍ମି ଯାନଟିର ପଛରୁ ଆସି ଯାନଟିକୁ ଆକ୍ରମଣ କଲେ । ଯାନରେ ବସିଥିବା ବ୍ୟକ୍ତି ଅଲୋକର ଆଭାସୀ ପରିବେଗ 100,000 ମାଇଲ ବୋଲି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ଅଲୋକର ପରମ ପରିବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ପାରିବେ ।

ସତ୍ୟ ପ୍ରଥମେ 1887 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ ମାଇକେଲସନ୍ (Michelson) ଓ ମର୍ଲେ (Morley) ନାମକ ଦୁଇଜଣ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଅଲୋକର ଆଭାସୀ ପରିବେଗ ମାପି ପୃଥିବୀର ପରମ ପରିବେଗ ମାପିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ । ସେମାନେ ଏହି ପଦ୍ଧତି କରିବା ପାଇଁ ମାଇକେଲସନ୍ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ବା ଇଣ୍ଟର-ଫେରେନ୍ସିଟର (Michelson Interferometre) ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ।

## ୨ । ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମର୍ଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା

ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମର୍ଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିବା ଉପକରଣଗୁଡ଼ିକ (ଚିତ୍ର 1.1 ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି । ଅଲେକ ଉତ୍ସ A ଠାରୁ ନିର୍ଗତ ଅଲେକ ରଶ୍ମି ଅର୍ଦ୍ଧ ରଜତ ଦର୍ପଣ B ଦ୍ୱାରା ଦୁଇଟି ବିରଣ ଗୁଚ୍ଛରେ (Beam) ବିଭକ୍ତ ହୁଏ ଏବଂ ଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱୟ ପରସ୍ପରକୁ ସମକୋଣ କରି E ଏବଂ C ନାମକ ଦୁଇଟି ଦର୍ପଣ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରନ୍ତି । ଦର୍ପଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ପୁଣି B ପାଖକୁ ଫେରିଆସେ । B ଠାରେ ଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱୟ ଏକାଠି ହୋଇ D ଦିଗକୁ ଗତି କରନ୍ତି । ଯଦି B ଠାରୁ E ର ଆଲୋକାୟ ପଥ (Optical Path) B ଠାରୁ C ର ଆଲୋକାୟ ପଥ ସହଜ ସମାନ ହୁଏ, ତେବେ ଅଲେକ ଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱୟ ସମକଳାରେ ରହୁବେ ଓ ଦୁହେଁ ସଫୋଷୀ ବ୍ୟତିକରଣ (Constructive Interference) ସୃଷ୍ଟି କରିବେ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଆଲୋକାୟ ପଥ ଭିନ୍ନ ହୁଏ, ତେବେ ସେମାନେ ବ୍ୟତିକରଣ ଛାଡ଼ି ସୃଷ୍ଟି କରିବେ ।



ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମର୍ଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାର ବ୍ୟବସ୍ଥା ଚିତ୍ର

ଚିତ୍ର (2.1) :

ମନେକରି ଇଥର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ପୃଥିବୀର ଗତି  $v$  ଅଲେକର ଗତି C ଏବଂ ମାଇକେଲସନ୍ଙ୍କ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକର BE ବାହୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ପୃଥିବୀର ପରିବେଗ ସହଜ ସମାନ୍ତର କରି ରଖା ଯାଇଅଛି । ମନେକରି BE ର ଆଲୋକାୟ ପଥ BC ସହଜ ସମାନ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ S ହୁଅନ୍ତୁ । ଅଲେକ

B ଠାରୁ E ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯିବା ପାଇଁ  $t_1^1$  ସମୟ ଓ E ଠାରୁ B ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆସିବା ପାଇଁ  $t_1^{11}$  ସମୟ ଲାଗେ । ତାହାହେଲେ ;

$$ct_1^1 = s + vt_1^1$$

$$\text{କିମ୍ବା } t_1^1 = \frac{s}{c-v}$$

କାରଣ ପୃଥିବୀର ବେଗ ଯୋଗୁ E ଦର୍ପଣଟି  $vt_1^1$  ଦୂରକୁ ଚାଲିଯାଏ । ସେହିପରି

$$ct_1^{11} = s - vt_1^{11}$$

$$\text{କିମ୍ବା } t_1^{11} = \frac{s}{c+v}$$

ଯଦି ଆଲୋକ B ଠାରୁ E ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯାଇ ଫେରି ଆସିବାକୁ  $t_1$  ସମୟ ଲାଗେ, ତେବେ

$$t_1 = t_1^1 + t_1^{11} = \frac{s}{c-v} + \frac{s}{c+v} \quad \dots (2.1)$$

$$= \frac{2s/c}{1-v^2/c^2} = \frac{2s}{c} \left( 1 + \frac{v^2}{c^2} \dots \right) \dots (2.2)$$

ଯେହେତୁ  $v \ll c$

ଯଦି ଅନ୍ୟ ଆଲୋକ ଗୁଚ୍ଛ B ଠାରୁ  $C^1$  ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯିବାକୁ  $t_2^1$  ସମୟ ନିଏ, ତେବେ ସେହି ଆଲୋକ ଗୁଚ୍ଛ  $C^1$  ଠାରୁ  $B^1$  କୁ ଆସିବାକୁ ମଧ୍ୟ ସେହି  $t_2^1$  ସମୟ ନେବ । ତେବେ

$$(ct_2^1)^2 = s^2 + (vt_2^1)^2$$

$$\text{କିମ୍ବା } t_2^1 = \frac{s}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

ଯଦି ଆଲୋକ B ଠାରୁ ବାହାରି  $C^1$  ଦ୍ଵାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ପୁଣି  $B^1$  ଠାରେ ପହଞ୍ଚିବାକୁ  $t_2$  ସମୟ ନିଏ, ତେବେ

$$t_2 = 2t_2^1 = \frac{2s}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2s/c}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{2s}{c} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \dots \right) \quad (2.3)$$

ସମୀକରଣ (2.2) ଓ (2.3) କୁ ତୁଳନା କଲେ ଜଣାଯିବ ଯେ ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ସ୍ଥିର ରହେ, ତେବେ  $t_1 = t_2$  ଅର୍ଥାତ ଅଲୋକ ଗୁଚ୍ଛର ଅଲୋକାୟୁ ପଥ ସମାନ ରହେ । ତେଣୁ ବ୍ୟତିକରଣ ଚାପର ବିଚ୍ଛନ୍ନ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ଚଳିଥିବା ପରିବେଶରେ ଗତି କରିବା ତେବେ  $t_1 \neq t_2$  ହେବ । ତେଣୁ ଦୁଇ ଅଲୋକ ଗୁଚ୍ଛର ଅଲୋକାୟୁ ଦୂରତା ଭିନ୍ନ ହେବ ଓ ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ (Fringe Shift) ହେବ । ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକକୁ  $90^\circ$  ଦୂରକୁ ଘୂର୍ତ୍ତାଏ, ତେବେ ଦୁଇ ସମୟ  $t_1$  ଏବଂ  $t_2$  ର ବ୍ୟବଧାନ ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯିବ । ତେଣୁ ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମଧ୍ୟ ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯିବ । ଯଦି ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ  $N$  ହୁଏ, ତେବେ

$$N = \frac{\text{ପଥ୍ୟାନୁର (Path difference)}}{\text{ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ (Wave length)}} \\ = \frac{c(t_1 - t_2)}{\lambda} = \frac{2sv^2}{c^2\lambda}$$

ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ପୃଥିବୀର ପରିବେଶକୁ ତାର ପରିକ୍ରମଣ ପରିବେଶ (Revolutional Velocity) ସେକେଣ୍ଡକୁ 30 କି.ମି: ସହଜ ସମାନ ବୋଲି ଧରି ନିଅ ଯାଇପାରେ । ମାଇକେଲ୍ସନ୍ ମର୍ଲେ ତାଙ୍କ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକର BE ଓ BC ର ଅଲୋକାୟୁ ପଥକୁ 10 ମିଟର ରଖିଥିଲେ ଓ 5000 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଅଲୋକ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ଏହି ପରିସ୍ଥିତିରେ ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନର ପରିମାଣ ସ୍ପଷ୍ଟାବ କଲେ

$$N = \frac{2 \times 10^4 (3 \times 10^4 \text{ ମି})^2}{(3 \times 10^8 \text{ ମି})^2 (5.0 \times 10^{-7} \text{ ମି})} = 0.4. \quad (2.4)$$

ଏହି ପରିମାଣର ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମାଇକେଲ୍ସନ୍ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ଦ୍ୱାରା ସହଜରେ ମପା ଯାଇପାରିବ । ତେଣୁ ଏହି ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମାପି ପୃଥିବୀର ପରମ ପରିବେଶ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇ ପାରିବ । ମାଇକେଲ୍ସନ୍ ଓ ମର୍ଲେ ସେମାନଙ୍କର ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକକୁ ଏକ ବଡ଼ ପାରଦ କୁଣ୍ଡରେ ରାସମାନ ଅବସ୍ଥାରେ ରଖିଥିଲେ ଏବଂ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକକୁ ଦୂରକୁ ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମାପିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ । ସେମାନେ ଏହି ପରୀକ୍ଷା ବର୍ଷର ବିଭିନ୍ନ ମାସ, ଦିନ ରାତିରେ ଆମେରିକା ଓ ଇଉରୋପର ବିଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ

ମାପିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରୁଥିଲେ; କିନ୍ତୁ କୌଣସି ସମୟରେ ସେମାନେ ଫ୍ରିଜ୍ ବିସ୍ତାପନ ଦେଖି ପାରି ନ ଥିଲେ । ତେଣୁ ଏହି ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣା ପଡ଼ିଲା ଯେ ଆଲୋକର ପରିବେଗ ସବୁବେଳେ ସମାନ ରହୁଛି । ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମର୍ଲେ ଏହି ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ତଥ୍ୟକୁ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରୁଥିଲେ କିନ୍ତୁ ସମ ହୋଇ ପାରି ନ ଥିଲେ । ପରିଶେଷରେ ସେମାନେ ମତ ଦେଲେ ଯେ ପୃଥିବୀ ଓ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ କିଛି ଆପେକ୍ଷିକ ଗତି ନାହିଁ । ଯଦି ଥାଏ, ତେବେ ତାହା ଅତି କମ୍ ।

ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମର୍ଲେ ତାଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟକୁ 1887 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିଲେ । ସେହିଦିନଠାରୁ 1905 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କୌଣସି ବୈଜ୍ଞାନିକ ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ମର୍ଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟକୁ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ଵାରା ଭୁଲ ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କରି ପାରି ନ ଥିଲେ, କିମ୍ବା ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟକୁ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇ ପାରି ନ ଥିଲେ ।

## ୩ । ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ଵର ସ୍ଥାପନା

ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ 1905 ମସିହାରେ ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମର୍ଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟକୁ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ଯାଇ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ଵାରା କେବଳ ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ ମାପାଯାଇ ପାରିବ ଓ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ସାଧାରଣ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକର ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ଵରୂପ ଆମେ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଇ ପରୀକ୍ଷା କରି ଯେଉଁ ଫଳ ପାଇବୁ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ସେହି ପରୀକ୍ଷାରୁ ଭିନ୍ନ ଫଳ ପାଇବୁ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳ ଆମର ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ମୋଟ ଉପରେ କହିବାକୁ ଗଲେ ଆମେ ଗତିଶୀଳ ପୃଥିବୀ ଉପରେ ରହି ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ଵାରା ଯେଉଁ ସତ୍ୟ ପାଉଛୁ ବା ଯାହା ଦେଖୁଛୁ ତାହା ନିରାପତ୍ତ ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଓ ସ୍ଥିରାବସ୍ଥାରେ ଯେ ଭିନ୍ନ ଫଳ ମିଳିପାରେ ତାହା ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥବିଦ୍ୟାବିତ୍-ମାନଙ୍କୁ ଜଣା ନ ଥିଲା । ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିର ଓ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଦର୍ଶକମାନଙ୍କୁ ଦୁଇଟି ଘଟଣାର ସମୟର ବ୍ୟବଧାନ ସମାନ ଓ ସେହିପରି ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନର ବ୍ୟବଧାନ ମଧ୍ୟ ସମାନ ବୋଲି ଜଣାଯିବ ।



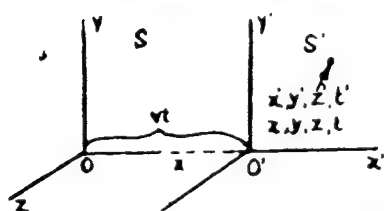
ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ପଦାର୍ଥବ୍ୟାପ୍ତ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ଗତିତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରମାଦପୂର୍ଣ୍ଣ ବୋଲି ସୂଚାଇଲେ ଓ ତାଙ୍କର ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କଲେ । ତାଙ୍କର ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଦୁଇଟି ସ୍ୱୀକାର ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଯଥା—(1) ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି (Coordinate System) ଏକ ସମାନ ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗରେ (constant relative velocity) ଗତି କରୁଥିଲେ ସେହି ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ମଧ୍ୟରୁ ଯେ କୌଣସି ଗୋଟିକରେ ପ୍ରକାଶିତ ଭୌତିକ ଘଟଣାର ନିୟମ (Laws of Physical Phenomenon) ଅନ୍ୟଟିରେ ପ୍ରକାଶିତ ନିୟମ ସଦୃଶ ସମାନ ।

(2) ଶୂନ୍ୟତା (Vacuum) ରେ ଆଲୋକର ପରିବେଗ ସବୁବେଳେ ସମସ୍ତଙ୍କ ପାଇଁ ସମାନ ଏବଂ ଏହା ଦର୍ଶକଙ୍କ ପ୍ରତି ଆଲୋକ ଉତ୍ସର ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ ।

ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ଶକର ପରିବେଗ ଯଦି ଆଲୋକର ପରିବେଗର ପାଖାପାଖି ହୁଏ, ତେବେ ସ୍ଥିର ଓ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ଶକଙ୍କ ମାଧ୍ୟମ ପାର୍ଥକ୍ୟ ସହଜରେ ଜାଣି ହେବ । କିନ୍ତୁ ପରିବେଗ ଯଦି କମ୍ ହୁଏ, ତେବେ ଏହି ପାର୍ଥକ୍ୟ ଏତେ କମ୍ ହେବ ଯେ ତାହା ମାପି ହେବ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଦୁଇଟି ଯାକ ଫଳ ପ୍ରାପ୍ତ ସମାନ ଆସିବ । ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ଗତିତତ୍ତ୍ୱ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ବିଶେଷ ପ୍ରକରଣ ମାତ୍ର ।

## ୪ । 'ସ୍ଥାନାଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକତା'ରୁ ରୂପାନ୍ତର

ମନେକର ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି  $S^1$ ,  $x$  ଦିଗରେ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିବେଗ



ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି  $S^1$  ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି  $S$ ,  
ପ୍ରତି  $v$  ପରିବେଗରେ  $x$  ଦିଗରେ ଗତି  
କରୁଛି ।

$v$  ରେ ଗତି କରୁଛି ଏବଂ  
ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ  
ପଦ୍ଧତି  $S$  ସ୍ଥିର ଅଛି ।  
ଏକ ବିନ୍ଦୁର ଅବସ୍ଥାନ

$S$  ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁ-  
ସାରେ  $t$  ସମୟରେ ମପା  
[ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ହେଲା  
 $x, y$  ଏବଂ  $z$  । ସେହି

ବିନ୍ଦୁର ଅବସ୍ଥିତି  $x^1$  ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ  $t^1$  ସମୟରେ ମଧ୍ୟାକ୍ଷରୀ  
 ବିନ୍ଦୁର ସ୍ଥାନାଙ୍କ  $x^1$ ,  $y^1$  ଏବଂ  $z^1$  ହେଲା । (ଚିତ୍ର—2.2 ଦେଖ) ମନେକରି  
 $t=t^1=0$  ସମୟରେ ଦୁଇ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଏକ ଜାଗାରେ ମିଳିତ ହୋଇଥିଲେ,  
 ତାହାହେଲେ ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କର ସମ୍ପର୍କ, ସମ୍ପ୍ରାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ (Classical Theory)  
 ଅନୁସାରେ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଦୁଇ ସ୍ଥାନାଙ୍କ  
 ମଧ୍ୟରେ ରହୁଥିବା ସମ୍ପର୍କ 2.1 ନମ୍ବର ତାଲିକା (Table) ର ପ୍ରଥମ ସ୍ତମ୍ଭ  
 (Column) ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ଓ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ରହୁଥିବା ସମ୍ପର୍କ  
 ସେହି ତାଲିକାର ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତମ୍ଭରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।

ତାଲିକା—(2.1)

ସମ୍ପ୍ରାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ	ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ
$x^1 = x - vt$	$x^1 = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (2.5)
$y^1 = y$	$y^1 = y$ (2.6)
$z^1 = z$	$z^1 = z \quad \dots$ (2.7)
$t^1 = t$	$t^1 = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (2.8)

ଏହି ତାଲିକାରୁ ଜଣାପଡ଼େ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ମଧ୍ୟାକ୍ଷରୀ  
 ଗୋଟିଏ ଘଟଣା ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଜାଗାରେ ଉଦ୍ଭବ ହେବା ସମୟରେ ଘଟୁଥିବାର  
 ଜଣା ଯାଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ସେହି ଘଟଣାଟି ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ  
 ମଧ୍ୟ ଗଲେ ଉଦ୍ଭବ ହେବା ଜାଗାରେ ଘଟୁଥିବାର ଜଣା ଯାଇପାରେ । ସେହିପରି  
 ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ମଧ୍ୟ ଘଟୁଥିବା ଦୁଇଟି ଘଟଣା ଏକ ସମୟରେ  
 ଘଟୁଥିଲେ ମଧ୍ୟ ତାହା ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ମଧ୍ୟଗଲେ ଉଦ୍ଭବ  
 ସମୟରେ ଘଟୁଥିବାର ଜଣା ଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଦୁଇଟି  
 ସ୍ଥାନର ତଥାତ୍ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଦୁଇଟି ସମୟର ତଥାତ୍ ଅନୁସାରେ ପ୍ରକାଶ  
 କରାଯାଇପାରେ ।

ଉଦାହରଣ—

ଆପେକ୍ଷିକାତ୍ମ ସମୀକରଣ (2.5) ଏବଂ (2.8) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରମାଣ କର ସେ  
 ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଆଲୋକର ପରିବେଗ ସମାନ ।

ମନେକର 2.2 ନମ୍ବର ଚିତ୍ରରେ ଆଲୋକ କେନ୍ଦ୍ରବିନ୍ଦୁଠାରୁ  $t=0$  ସମୟରେ  $x$  ଦିଗରେ  $c$  ପରିବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଲୁଗିଲ୍ ଓ  $t$  ସମୟ ପରେ  $x$  ଦୂରରେ ପହଞ୍ଚିଲା । ତାହାହେଲେ  $t=x/c$  ।  $v$  ପରିବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଥାଇ ଏକ ଦର୍ଶକ ଦେଖିଲା ଯେ ଆଲୋକ  $t^1$  ସମୟରେ  $x^1$  ଦୂର ଗତି କରୁଅଛି, ତେବେ

$$x^1 = \frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

ଏବଂ  $t^1 = \frac{\frac{x}{c} - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$  ଯଦି ଗତିଶୀଳ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଆଲୋକର ପରିବେଗ  $c^1$  ହୁଏ, ତେବେ

$$c^1 = \frac{x^1}{t^1} = \frac{x - \frac{vx}{c}}{\frac{x}{c} - \frac{vx}{c^2}} = c$$

ଏଥିରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ଆଲୋକର ଗତି ସବୁ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ସମାନ ।

## ୪ । ପରିବେଗର ସଂଯୋଜନା

ଜଣେ ଦର୍ଶକ A, S ସ୍ଥାନାଙ୍କ (ଚିତ୍ର-2.2) ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିର ଅଛି ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଦର୍ଶକ B, S<sup>1</sup> ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିର ଅଛି । କିନ୍ତୁ S<sup>1</sup> ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି X ଦିଗରେ S ପ୍ରତି  $v$  ପରିବେଗରେ ଗତି କରୁଛି । ମନେକର ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥ X ଦିଗରେ ଦୂର ଦର୍ଶକଙ୍କୁ ଅତିକ୍ରମ କରୁଅଛି । B ଦର୍ଶକ ନିଜ ପ୍ରତି ପଦାର୍ଥର ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ  $v^1$  ବୋଲି ମାପିଲା ଏବଂ A ଦର୍ଶକ ନିଜ ପ୍ରତି ପଦାର୍ଥର ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ  $u$  ବୋଲି ମାପିଲା । ତାହାହେଲେ

$$v^1 = \frac{\Delta x^1}{\Delta t^1} = \frac{\Delta \left( \frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right)}{\Delta \left( \frac{t-vx/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right)}$$

$$= \frac{\Delta x - v \Delta t}{\Delta t - (v^2/c^2) \Delta x} = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}} \dots\dots\dots (2.9)$$

ସେହିଠାରେ  $u = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

ଉପର ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ପାଇଁ

$$u = \frac{u^1 + v}{1 + u^1 v / c^2} \dots\dots (2.10)$$

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ରକେଟ  $u$  ପରିବେଗରେ ଭ୍ରମର ପରୀକ୍ଷାଗାର ଉପର ଦେଇ ଗଲିଗଲା ଏବଂ ଏକ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ  $u^1$  ବେଗରେ ରକେଟଟିକୁ ଅବଲମ୍ବ କରାଗଲା । ଯଦି  $u$  ଏବଂ  $u^1$  ପ୍ରତ୍ୟେକର ପରିମାଣ  $0.9c$  ହୁଏ, ତେବେ ପରୀକ୍ଷାଗାର ପ୍ରତି ଉପଗ୍ରହର ବେଗ କେତେ ହେବ ?

ସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଉପଗ୍ରହର ବେଗ ପରୀକ୍ଷାଗାର ପ୍ରତି ରକେଟର ବେଗ ଓ ରକେଟ ପ୍ରତି ଉପଗ୍ରହ ବେଗର ସମଷ୍ଟି ସହଜ ସମାନ ହେବ । କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏହା ଭିନ୍ନ ହେବ । ଯଦି  $u$  ଉପଗ୍ରହର ବେଗ ହୁଏ, ତେବେ ସମୀକରଣ (2.10) ଅନୁସାରେ

$$u = \frac{0.9c + .9c}{1 + \frac{.9c \times .9c}{c^2}} = \frac{1.8c}{1 + .8} = .995c$$

ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ କୌଣସି ବସ୍ତୁ ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ ବେଶୀ ବେଗରେ ଯାଇ ପାରୁ ନାହିଁ ।

## ୭ । ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ

କିର୍କିଙ୍ଗ୍ ସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ (Classical theory) ଅନୁସାରେ ସବେଗ (Momentum) ବେଗ ସହ ଅନୁପାତୀ (Proportional) କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏହା ଅନୁପାତୀ ନୁହେଁ । କେବଳ ଯେତେବେଳେ ବେଗର ପରିମାଣ ଆଲୋକର ବେଗ ତୁଳନାରେ କମ୍ ଥାଏ, ସେତେବେଳେ ସବେଗ ବେଗ ପ୍ରତି ପ୍ରାୟ ଅନୁପାତୀ ।

ଯେତେବେଳେ ଏକ ସମାନ ବଳ କୌଣସି ବସ୍ତୁ ଉପରେ ବହୁ ସମୟ ଲାଗି ପ୍ରୟୋଗ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବସ୍ତୁର ବେଗ

ବଢ଼ି ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ କି ଅଧିକା ହୋଇପାରେ । କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବସ୍ତୁର ବେଗ ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ ଅଧିକା ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଫରାଦେୟ ନିୟମ ବଢ଼ିବାକୁ ଲାଗେ । ବସ୍ତୁର ବେଗ ଆଲୋକ ବେଗର ପାଖାପାଖି ହେଲେ, ବେଗର ବିଶେଷ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଫରାଦେୟ ପରିମାଣ ବଢ଼ି ଚାଲିଲା । ଫରାଦେୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ବେଗର ଗୁଣଫଳ ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହୋଇଥିବାରୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ବଢ଼େ । ସେଥିପାଇଁ ବସ୍ତୁର ଫରାଦେୟକୁ ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ 
$$m = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$
 । ପଦାର୍ଥର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ  $m_0$  ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲେ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେବ

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (2.11)$$

ଏହି ପ୍ରକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ଯାଇଅଛି ।

ଉଦାହରଣ—

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ  $9.1 \times 10^{-28}$  ଗ୍ରାମ୍ ହେଲେ, ତାହାର ପରିବେଗ କେତେ ହେଲେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ତିନିଗୁଣ ହେବ ?

ଦତ୍ତ ଅଛି  $m = 3m_0$

ତେଣୁ ସମୀକରଣ (2.11) ଅନୁସାରେ

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{m_0^2}{m^2} = \frac{1}{9}$$

$$\text{କିମ୍ବା } \frac{v^2}{c^2} = \frac{8}{9} \quad \text{କିମ୍ବା } v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$$

## ୭ । ଗତି ଶକ୍ତି ( Kinetic Energy )

ଏକ ଆବକ୍ଷ ଗ୍ୟାସକୁ ଗରମ କଲେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ବଢ଼େ । ତେଣୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗ୍ୟାସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ମଧ୍ୟ ବଢ଼େ । ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ଅତି କମ୍ ହେଲେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧି ଏତେ କମ୍ ହୁଏ ଯେ ତାହା ଜଣା ପଡ଼େ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ବେଶୀ ହେଲେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର

ବୁଦ୍ଧି ବେଶୀ ହୁଏ ଓ ବୁଦ୍ଧିର ପରିମାଣ ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ । ଦ୍ବିପଦ ପ୍ରମେୟ (Binomial theorem) ସାହାଯ୍ୟରେ ଆମେ ପାଉଁ

$$\frac{m_0}{(1-v^2/c^2)} = m_0 \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8} \frac{v^4}{c^4} + \dots \right) \dots (2.12)$$

$v$  ର ପରିମାଣ  $c$  ତୁଳନାରେ କମ୍ ହେଲେ  $v^4/c^4$  କୁ  $v^2/c^2$  ତୁଳନାରେ ଛାଡ଼ି ଦିଆଯାଇପାରେ । ତେଣୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$m \simeq m_0 + \frac{1}{2} m_0 \frac{v^2}{c^2} \dots \dots \dots (2.13)$$

ଉପର ସମୀକରଣରୁ ଜଣାପଡ଼େ ଯେ ତାହାଣ ପଟେ ଥିବା ପ୍ରଥମ ରାଶି ହେଉଛି ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁ ଓ ଦ୍ବିତୀୟ ରାଶି ହେଉଛି ବେଗର ବୁଦ୍ଧି ଯୋଗୁ ବସ୍ତୁର ବୁଦ୍ଧି । ତେଣୁ ଆମେ କହ ପାରବା ବସ୍ତୁର ବୁଦ୍ଧି ତାପର ବୁଦ୍ଧି ପ୍ରତି ଅନୁପାତ । କିନ୍ତୁ ନିଉଟନ୍ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ବ ଅନୁସାରେ ଗତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଉଛି  $\frac{1}{2} m_0 v^2$  । ତେଣୁ ଆମେ କହ ପାରବା ବସ୍ତୁର ବୁଦ୍ଧି =  $\frac{\text{ଗତି ଶକ୍ତି}}{c^2}$  ଅଥବା

$$\begin{aligned} \text{ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି} &= mc^2 \\ &= \text{ଗତି ଶକ୍ତି} + m_0 c^2 \dots \dots \dots (2.14) \end{aligned}$$

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ଗତି ଶକ୍ତି 600 କି: ଇ: ଭୋ: ହେଲେ ତାହାର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି, ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି, ବସ୍ତୁ ଏବଂ ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

$$\begin{aligned} \text{ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି} &= m_0 c^2 \\ &= 9.11 \times 10^{-31} \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times (3 \times 10^8 \text{ ମି:ସେ})^2 \\ &= 8.19 \times 10^{-14} \text{ ଯୁଲ୍} = \frac{8.19 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ ଇ: ଭୋ:} \\ &= 511 \text{ କି: ଇ: ଭୋ:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି} &= (511 + 600) \text{ କି: ଇ: ଭୋ:} \\ &= 1111 \text{ କି: ଇ: ଭୋ:} \end{aligned}$$

ବସ୍ତୁ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ଲେଶି ପାରବା

$$\begin{aligned} m &= m_0 \frac{mc^2}{m_0 c^2} = m_0 \frac{\text{ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି}}{\text{ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି}} \\ &= m_0 \frac{1111}{511} = m_0 \times 2.17 = 19.77 \times 10^{-31} \text{ କି:ଗ୍ରା:} \end{aligned}$$

ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରବା ପାଇଁ ଆମେ ଲେଣି ପାରିବା।

$$m = 2.17m_0 = m_0 \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\text{କମ୍ପା.} \quad \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) = \frac{1}{(2.17)^2}$$

$$\text{ତେଣୁ } v = 0.28c$$

## ୮ । ସମୟର ପ୍ରସାର (Time dilatation)

ମନେକର  $S^1$  ନାମକ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଗୋଟିଏ ଘଟଣା  $t_1^1$  ସମୟରେ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଏକ ଘଟଣା  $t_2^1$  ସମୟରେ ଏକ ଜାଗାରେ ଘଟୁଥିବାର ଦେଖାଗଲା । ତାହାହେଲେ ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି  $S$  ରେ ଘଟଣା ଦୁଇଟି ଦୁଇ ଭିନ୍ନ ଜାଗାରେ ଘଟୁଥିବାର ଦେଖା ଯିବ । ଯଦି  $S$  ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଗୋଟିଏ  $(x_1, y, z, t_1)$  ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଏବଂ ଅନ୍ୟଟି  $(x_2, y, z, t_2)$  ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଘଟୁଥିବାର ଜଣାଯାଏ, ତେବେ

$$x_2 - x_1 = v(t_2 - t_1)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $v$ ,  $S^1$  ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିର ବେଗ ସମୀକରଣ (2.5) ଓ (2.8) ଅନୁସାରେ

$$\begin{aligned} t_2 - t_1 &= \frac{1}{v} \left[ \frac{x_2^1 + vt_2^1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - \frac{x_1^1 + vt_1^1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right] \\ &= \frac{t_2^1 - t_1^1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \dots\dots\dots (2.15) \end{aligned}$$

ଯେହେତୁ  $x_2^1 = x_1^1$  ।

ସମୀକରଣ (2.15) ରୁ ଜଣାଯାଏ

$$t_2 - t_1 > t_2^1 - t_1^1$$

ଅର୍ଥାତ୍  $S$  ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଥିବା ଦର୍ଶକକୁ ଜଣାଯିବ ଯେ ସମୟର ପ୍ରସାର ଘଟୁଛି । ତେଣୁ ଗତି କରୁଥିବା ଘଡ଼ି ଏକ ସ୍ଥିର ଥିବା ଘଡ଼ି ଅନୁସାରେ ଧୀରେ ଚାଲେ ।

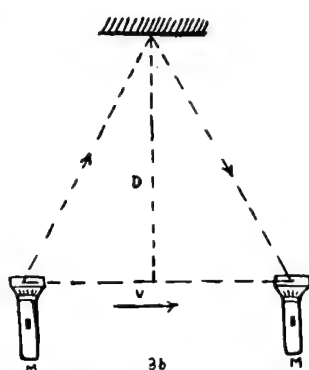
ସମୟର ପ୍ରସାରରୁ ଜଣାଯାଏ ଦୁଇଟି ଯାଆଁଳା ଭାଇ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ଅତି ବେଶୀ ପରିବେଗରେ ଏକ ଦୂର ସ୍ଥାନକୁ ଯାଇ ଯଦି ଫେରିଆସେ ତେବେ ସେ ଦେଖିବ ଯେ ତାର ଅନ୍ୟ ଭାଇର ବୟସ ତାଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇ ଯାଇଛି ।

ସାଧାରଣ ଅନୁଭୂତିରୁ ଜଣାଯାଏ ଏହା ଠିକ୍ ନୁହେଁ ଏବଂ ଏହା ଏକ ବିରୋଧାଭାସ (Paradox) । କିନ୍ତୁ ଏହାର ସଠିକ୍‌ତା ନିମ୍ନଲିଖିତ ଅଲୋଚନାରୁ ଅତି ସହଜରେ ବୁଝି ହେବ ।

ମନେକର ଏକ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଟ୍ରେନରେ ଯାଉଥିବା ଜଣେ ଲୋକ ଡବାର ଚଟାଣରୁ ଟର୍ଚ୍ଚ ଅଲୋକ ଟ୍ରେନ ଛାଡ଼ି ଉପରକୁ ଚଟାଣ ସହିତ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ପକାଇଲା । ଅଲୋକ ଏକ ଦର୍ପଣ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ପୁଣି ଲଇଟ୍ ପାଖକୁ ଫେରି ଆସିଲା । ଟ୍ରେନରେ ଯାଉଥିବା ଲୋକଟି ଦେଖିବ ଯେ ଅଲୋକ ଚଟାଣ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଯାଇ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଫେରି ଆସିଲା । କିନ୍ତୁ ଷ୍ଟେସନରେ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଲୋକ ଦେଖିବ ଯେ ଅଲୋକ ଛାଡ଼ିବା ପରେ ଦର୍ପଣ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ଫେରି ଆସିଲା ବେଳକୁ ଟର୍ଚ୍ଚ ଲଇଟ୍ ସେହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ କିଛି ଦୂର ଚାଲି ଯାଇଥିବ । ଟ୍ରେନରେ ଥିବା ଲୋକ ପାଇଁ ଅଲୋକର ପଥ  $2D$  ହେଲେ, ସ୍ଥିର ଥିବା ଲୋକ ପାଇଁ ଅଲୋକର ପଥ  $\frac{2D}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$  ହେବ । ଅଲୋକର ବେଗ ସବୁବେଳେ ସମାନ ହୋଇଥିବାରୁ ସ୍ଥିର ଥିବା ଲୋକ ଦେଖିବ ଯେ ଅଲୋକ ଟର୍ଚ୍ଚରୁ ବାହାରି ପୁଣି ଟର୍ଚ୍ଚ ପାଖକୁ ଫେରି ଆସିବାକୁ ବେଶୀ ସମୟ ନେଉଛି । କାରଣ ଅଲୋକକୁ ବେଶୀ ବାଟ ଯିବାକୁ ପଡ଼ୁଛି ।



ଟ୍ରେନ ଡବାରରେ ଥିବା ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ଅଲୋକର ପଥ



ଘାଟପନ୍ଥରେ ସ୍ଥିର ଥିବା ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ଅଲୋକର ପଥ



ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ମହାଶୂନ୍ୟ ଯାନରେ ଥିବା ଜଣେ ଲୋକ ପ୍ରତି ୫ ଘଣ୍ଟା କାମ କଲ ପରେ ବିଶ୍ରାମ ନିଏ । ଯଦି ଯାନଟି ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି  $0.6c$  ବେଗରେ ଗତି କରୁଥାଏ, ତେବେ ପୃଥିବୀର ସମୟ ଅନୁସାରେ ମହାକାଶ ଯାନର ଲୋକଟି କେତେ ଘଣ୍ଟା ପରେ ଥରେ ବିଶ୍ରାମ ନିଏ ?

ଦିଆଅଛି  $t_2^1 - t_1^1 = 8$  ଘଣ୍ଟା,  $v = 0.6c$

$$t_2 - t_1 = \frac{8}{\sqrt{1-0.36}} = \frac{8}{0.8} = 10 \text{ ଘଣ୍ଟା}$$

### ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ଗୋଟିଏ ରକେଟର ଲମ୍ବ 100 ମିଟର । ଯଦି ରକେଟଟି ପୃଥିବୀରୁ ବାହାରି ସେକେଣ୍ଡକୁ  $3 \times 10^8$  ମିଟର ବେଗରେ ଯାଏ, ତେବେ ପୃଥିବୀ ଉପରେ ଥିବା ଲୋକଙ୍କୁ ରକେଟର ଲମ୍ବ କେତେ ଦେଖା ଯିବ ?
2. ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଗତିଶୀଳ ବସ୍ତୁର ଲମ୍ବ  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  ଗୁଣ କରି ଯାଉଥିବାରୁ ମାଇକେଲ୍ସନ୍ ଓ ମର୍ଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ଫ୍ରିଂଜ୍ ଷିଫ୍ଟ (Fringe Shift) ହୁଏ ନାହିଁ ।
3. ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ପର୍କ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ?
4. ନିମ୍ନଲିଖିତ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରମାଣ କର :—

( $E_k =$  ଗତି ଶକ୍ତି)

$$(a) E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1$$

$$(b) \frac{v}{c} = \left[ 1 - \frac{1}{1 + \left( \frac{E_k}{m_0 c^2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$(c) 1 + \frac{E_k}{m_0 c^2} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

5. ଗୋଟିଏ ରକେଟ ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି  $0.5c$  ବେଗରେ ଗତି କରୁଛି । ଅନ୍ୟ ଏକ ରକେଟ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ବାହାରି ପ୍ରଥମ ରକେଟକୁ  $0.5c$  ବେଗରେ ଅଭିମୁଖ୍ୟ କଲା । ତାହାହେଲେ ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି ଦ୍ଵିତୀୟ ରକେଟର ବେଗ କେତେ ?
6. ଗୋଟିଏ ରକେଟ ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି  $0.4c$  ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବାବେଳେ ରକେଟରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଦର୍ଶକ ଦେଖିଲା ଯେ ଗୋଟିଏ ଉଲ୍ଲା  $0.6c$  ବେଗରେ ରକେଟକୁ ଅଭିମୁଖ୍ୟ କଲା । ତେବେ ଉଲ୍ଲାର ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି ବେଗ କେତେ ?
7. ଜଣେ ଲୋକ  $0.8c$  ବେଗରେ ଥିବାବେଳେ ଦେଖିଲା ଯେ ଆଉ ଜଣେ ଲୋକ ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ପଥର ଖଣ୍ଡକୁ ତଳୁ ଉଠାଇ ହାତରେ  $10$  ମିନିଟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଧରି ପୁଣି ତଳକୁ ପକାଇ ଦେଲା, ତେବେ ସେ ଲୋକଟି କିତା ଦିଗ୍ଘା ଅନୁସାରେ କେତେ ସମୟ ପଥରଟିକୁ ଧରି ଥିବ ?
8. ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ରେ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ଵ  $m_0$  ଓ ବେଗ  $v$  । ଯଦି  $v$  ର ପରିମାଣ କମ୍ ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ—

$$\text{ତାର ଗତି ଶକ୍ତି} = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

9. ଯଦି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ବେଗ  $v$ , ସବେଗ  $P$  ଓ ଶକ୍ତି  $E$  ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ—

$$\frac{v}{c} E = P$$

10. ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ଵ  $9 \times 10^{-28}$  ଗ୍ରାମ୍ । ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ତାର ବସ୍ତୁତ୍ଵ  $3 \times 10^{-28}$  ଗ୍ରାମ୍ ହେଲେ, ତାର ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
11. ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି । ମି: ଇ: ଘୋ: ହେଲେ, ତାର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ଓ ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
12. ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ଵ  $9 \times 10^{-31}$  କି: ଗ୍ରା: ଓ ତାହା  $0.1c$ ,  $0.9c$  ଓ  $.99c$  ବେଗରେ ଗଲେ, ତାର ବସ୍ତୁତ୍ଵର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
13. ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ବେଗ  $0.8c$  ହେଲେ, ତାର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ ବାହାର କର ।

$$(Mp = 1.67 \times 10^{-27} \text{ କି:ଗ୍ରା:})$$

14. 0.1 ଗ୍ରାମ କୋଇଲି ଜଳରେ 750 କ୍ୟାଲୋରୀ ଶକ୍ତି ମିଳେ । 0.1 ଗ୍ରାମ କୋଇଲି ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହେଲେ, କେତେ ଅଧିକା ଶକ୍ତି ମିଳିବ ।
15. ମନେକର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତାଜାତୀୟ ପୃଥ୍ବୀ ଗୁରୁତ୍ବାକ୍ଷେପେ ସେକେଣ୍ଡକୁ 270 ମିଟର ବେଗରେ ଚାଲୁଛି । କେତେ ବର୍ଷ ପରେ ପୃଥ୍ବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଘଡ଼ି ଓ ଉତ୍ତାଜାତୀୟରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଘଡ଼ି ମଧ୍ୟରେ ସମୟର ବ୍ୟବଧାନର ତାରତମ୍ୟ 1 ସେକେଣ୍ଡ ହେବ ?
16. ଗୋଟିଏ କଣିକା ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ  $10^{-7}$  ସେକେଣ୍ଡ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତ୍ୱଷ୍ଟି ରହୁଥିବାବେଳେ । କିନ୍ତୁ ଏହା ଯଦି  $0.98c$  ବେଗରେ ଗତିକରେ, ତେବେ ସୃଷ୍ଟି ହେବାଠାରୁ କେତେ ସମୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତ୍ୱଷ୍ଟି ରହି ପାରିବ ?
17. ପୃଥ୍ବୀ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ପ୍ରତି ବର୍ଷ ସେ:ମି: ପ୍ରତି ମିନିଟ୍‌ରେ 2 କ୍ୟାଲୋରୀ ଶକ୍ତି ପାଏ । ତାହାହେଲେ ଏକ ବର୍ଷରେ କେତେ ଗ୍ରାମ ଓଜନର ବସ୍ତୁ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ଆସି ପୃଥ୍ବୀ ଉପରେ ପଡ଼େ ?

---

# ତୃତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ

## ଫୋଟନ ଏବଂ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ତତ୍ତ୍ୱ

(Photon and quantum theory)

1900 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦର ଆରମ୍ଭରେ ଜର୍ମାନୀର ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ରୂପଜାୟ ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ବା ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ଗତି ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା କେତେକ ପରିମାଣବାୟ ଘଟଣା (Atomic phenomena) ବୁଝା ଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ପ୍ଲାଙ୍କ ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଭିନ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣକୁ (Black body radiation) ବୁଝାଇବାକୁ ଯାଇ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏହାକୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ତତ୍ତ୍ୱ କହନ୍ତି । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରଭାବ (Photo electric effect), କମ୍ପଟନ୍‌ଙ୍କ ପ୍ରଭାବ (Compton effect) ଏବଂ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (continuous X-Ray spectrum) ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ସହଜରେ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ।

### ୧ । କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ (Black body radiation)

ଭିତର କଳା ହୋଇଥିବା ଏକ ବାକ୍ସରେ ରହୁଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ୍ ରୂପଜାୟ ବିକିରଣକୁ (Electromagnetic radiation) କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ କହନ୍ତି । କଳା ବାକ୍ସରୁ ଗୋଟିଏ ଛୋଟ କଣା ଦେଇ ବାହାରି ଆସୁଥିବା ବିକିରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣର ଧର୍ମଗୁଡ଼ିକ ପରୀକ୍ଷା କରା ଯାଇପାରେ ।

ପ୍ଲାଙ୍କ 1901 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ ଯେ ବାକ୍ସରେ ଅନ୍ତର୍ଗତ ସୁଦ୍ର ଦୋଳକ (oscillator) ରହି ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ଓ ଅବଶୋଷଣ (absorb) କରନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ଶକ୍ତି ବିକିରଣର (ବା ଅବଶୋଷଣର) ପରିମାଣ ମନମୁତାବକ ନ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ସୁଦ୍ର ପରିମାଣର (କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ) ଗୁଣିତକ ହୁଏ । ଏହି ସୁଦ୍ର ଶକ୍ତିକୁ ଶକ୍ତି କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ (Quantum of Energy) କହନ୍ତି । ଏହି ଶକ୍ତି କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍‌ର ପରିମାଣ ବିକିରଣର ଆବୃତ୍ତ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଓ ଏହାର ସୁଦ୍ରତମ ପରିମାଣ ହେଲା

$$E = h\nu$$

$$\dots (3.1)$$

ଏହାଠାରେ  $h$  ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ । ଏହି ଧ୍ରୁବାଙ୍କ  $h$  କୁ ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ କୁହାଯାଏ । ଏହାର ବର୍ଣ୍ଣ (Dimension) ହେଲା ଶକ୍ତି-ସମୟ ଇମ୍ପାକ୍ଟ ସବେଗ ଦୂରତା ।

ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧି ଫଳରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ  $h=6.62 \times 10^{-27}$  ଅର୍ଗ-ସେକେଣ୍ଡ । ପରେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଚିନ୍ତାଧାରାକୁ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ (Photo electric effect), ହାଇଡ୍ରୋଜନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (Hydrogen Spectrum), କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ (Compton effect) ପ୍ରଭୃତି ଅନ୍ୟ କେତେକ ଭୌତିକ ଘଟଣାରେ ବ୍ୟବହାର କରି ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରା ଯାଇଥିଲା ଓ ସମାନ ଫଳ ମିଳିଥିଲା । ସେହି ସବୁ ଭୌତିକ ଘଟଣାକୁ ଏଠାରେ ସମ୍ୟକ୍ ଆଲୋଚନା କରାଯାଉ ।

## ୨ । ଫୋଟନ୍ ଏବଂ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ ( Photon and Photo electric effect )

ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆବୃତ୍ତି (Frequency) ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ (Electromagnetic Waves) କେତେକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ (Metallic Surface) ଉପରେ ପଡ଼ିଲେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ (Emission) ହୁଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣା ଯାଇଥିଲା ଯେ (1) ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରେ ପଡ଼ିବା ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ମଧ୍ୟରେ ସମୟର ବ୍ୟବଧାନ ପ୍ରାୟ ନ ଥାଏ । (2) ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ (Photo electron) ର ଶକ୍ତି, ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗର ଧୀବ୍ରତା (Intensity) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ ; କିନ୍ତୁ ଆବୃତ୍ତି (Frequency) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । (3) ଯଦି ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ ଓ ସଂଗ୍ରହକ ଫଳକ (Collector Plate) ମଧ୍ୟରେ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ର ଗତି ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ପାଏ । ଯେଉଁ ସଂକଳନ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୁଏ ନାହିଁ, ସେହି ବିଭବାନ୍ତର ପାଇଁ

$$eV = \frac{1}{2} mv^2 \quad \dots \quad (3.2)$$

(4) ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ର ସଂଖ୍ୟା ତରଙ୍ଗର ଧୀବ୍ରତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । (5) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରୁ ବେଶୀ ଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ ଉପରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୁଏ ନାହିଁ ।

ଏହିସବୁ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟକୁ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ଯାଇ 1905 ମସିହାରେ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ରୂପଜାୟ ଶକ୍ତି କ୍ରୀଷ୍ଣା ଅକାରରେ ବିକିରଣ (radiation) ଏବଂ ଅବଶୋଷଣ (absorb) ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କ୍ରୀଷ୍ଣା ଅକାରରେ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ପ୍ରବାହିତ ହୁଏ । ସେ ଏହି କ୍ରୀଷ୍ଣାର ନାମ ଫୋଟନ୍ (Photon) ରଖିଥିଲେ । ମନେକର  $\nu$  ଅବୃତ୍ତ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଫୋଟନ୍ ଏକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ ଉପରେ ପଡ଼ିବାରୁ  $\nu$  ପରିବେଶ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଉତ୍ସର୍ଜନ ହେଲା । ଏଠାରେ ଫୋଟନ୍‌ର ଶକ୍ତି  $h\nu$  । ଏହି ଶକ୍ତିର କିଛି ଅଂଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି  $\frac{1}{2}mv^2$  ରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହେଲା । ଅବଶିଷ୍ଟ ଅଂଶ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ କରିବା ପାଇଁ ବ୍ୟୟିତ ହେଲା । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ  $W_0$  ହୁଏ, ତେବେ ଆମେ ଲେଖି ପାରୁବା ଯେ :—

$$h\nu = W_0 + \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots \quad (3.3)$$

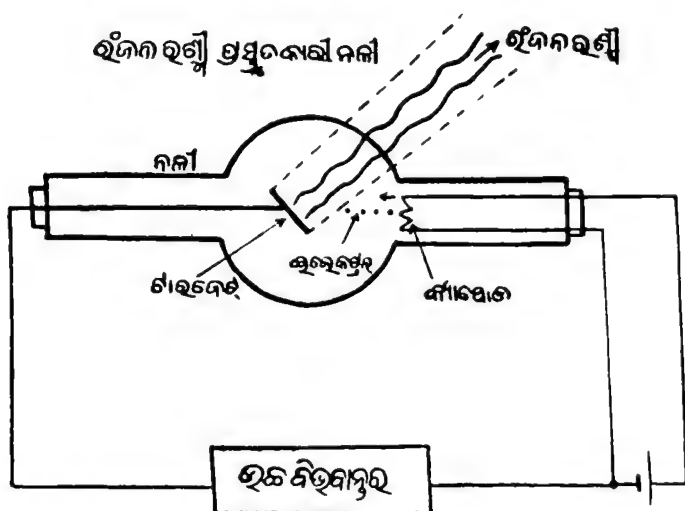
ଏଠାରେ  $W_0$  କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ (work function) କୁହାଯାଏ । ଏହି ସମୀକରଣକୁ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ ପ୍ରଥମେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ।

ଉପରୋକ୍ତ ସମୀକରଣକୁ ଆଲୋଚନା କଲେ ଜଣାଯାଏ ଯଦି ବିଦ୍ୟୁତ ରୂପଜାୟ ତରଙ୍ଗର ଘାତୀତା ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ ଉତ୍ସର୍ଜିତ (emitted) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଖ୍ୟା ବେଶୀ ହେବ । ଅବୃତ୍ତ ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ ବେଶୀ ଗତି ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଉତ୍ସର୍ଜନ ହେବ ଏବଂ ଫୋଟନ୍‌ର ଶକ୍ତି, କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ (work function) ଠାରୁ କମ୍ ହୁଏ, ତେବେ ସେହି ଫୋଟନ୍ ଦ୍ଵାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଉତ୍ସର୍ଜନ ହେବ ନାହିଁ । ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ସମୀକରଣ ଦ୍ଵାରା ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ସତ୍ୟକୁ ଭଲ ଭାବରେ ବୁଝା ଯାଇ ପାରୁଲା । ଅର୍ଥାତ୍ ଏ ମିଳନ ନାମକ ଏକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ଵାରା ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ସମୀକରଣକୁ ଠିକ୍ ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କରାଯାଇଥିଲା ।

### ୩ । ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (Continuous X-Ray spectrum)

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଏକ ପ୍ରକାର ବିଦ୍ୟୁତ ରୂପଜାୟ ତରଙ୍ଗ । ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ  $10^{-8}$  ସେ:ମି: ଠାରୁ  $10^{-9}$  ସେ:ମି: । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉତ୍ସନ୍ନର ପ୍ରଣାଳୀ (ଚିତ୍ର 3.1) ରେ ବୁଝା ଯାଇଅଛି ।

ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରବାହ (electric current) ଦ୍ୱାରା ଟଙ୍ଗଷ୍ଟେନ୍ ତନ୍ତ୍ର (Tungsten Filament) କୁ ଗରମ କରାଯାଏ । ଯାହା ଫଳରେ ତନ୍ତ୍ରରୁ



ଚିତ୍ର (3.1)

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଉତ୍ସର୍ଜନ (emission) ହୁଏ । ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ କେତେକ ହଜାର ଭୋଲ୍ଟର ବିଭବାନ୍ତର (Potential difference) ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ (accelerated) ହୁଅନ୍ତି । ଏହି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଏକ ଧାତୁ ଦ୍ୱାରା ବାଧା ପ୍ରାପ୍ତ ହୋଇ ଗଲ ଶକ୍ତି ହରାନ୍ତି ଓ ଏକ୍ସରେସ୍ ବିକିରଣ ହୁଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଭବାନ୍ତର (Potential difference) ପାଇଁ ବିକିରଣ ଦେଉଥିବା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉଚ୍ଚତମ (maximum) ଆବୃତ୍ତି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ । ଏହି ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତି ବିଭବାନ୍ତର ପରିମାଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଓ

$$\frac{\nu_m}{V} = \text{ପ୍ରାୟାସ} \quad (3.4)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $\nu_m$ —ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତି  $V$ =ବିଭବାନ୍ତର ।

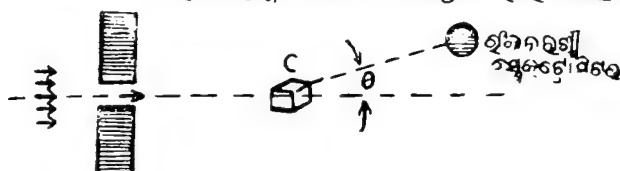
ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ଏହି ପ୍ରକାର ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତିର ସୀମା (High frequency limit) ସମ୍ପ୍ରାପ୍ତିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବୁଝି ଦେଲା ନାହିଁ କିନ୍ତୁ ଫୋଟନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏହା ସହଜରେ ବୁଝି ଦେଲା । ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ ବିକିରଣ ଅଣୁ ଦ୍ୱାରା ବାଧା ପାଇ ଥରକୁ ଥର ମନ୍ଥତ ହୋଇ ବିକିରଣ





ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହଜ ସମାନ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସେ ଦେଖିଲେ ସେ କେତେକ ପ୍ରକାର ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅପରିବର୍ତ୍ତ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ-

ଫୋଟନର ସଂଘଟନ ପ୍ରକାଶନ ପାଇଁ ଉପକରଣ



ଚିତ୍ର (3.3)

ଠାରୁ ବେଶୀ ହେଉଛି (ଚିତ୍ର 3.4 ଦେଖ) ଏବଂ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର କ୍ଷୟାପନ (Wave length shift) ପ୍ରକାଶନ କୋଣ (Scattering-angle) ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବଢ଼ୁଛି । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ (Compton effect) କହନ୍ତି ଏବଂ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟୀତ ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ ।

କିନ୍ତୁ ତୁଳ୍ୟତା ତରଙ୍ଗର ଫୋଟନ

ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ

ଅତି ସହଜରେ ବୁଝା ଯାଇପାରେ ।

ଯଦି ଫୋଟନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁ ଥାଏ

ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ ତାର

ସମସ୍ତ ଶକ୍ତି ଗତି ଶକ୍ତି ହେବ ।

ଫୋଟନର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା

$E = h\nu$  ପୁଣି  $E = mc^2$  ତେଣୁ

$mc^2 = h\nu$  କିମ୍ବା  $m = \frac{h\nu}{c^2}$  ଫୋଟନର

ସବେଗ (Momentum)  $P$  ହେଲେ,

$$P = mc = \frac{h\nu}{c} \quad \dots (3.6)$$

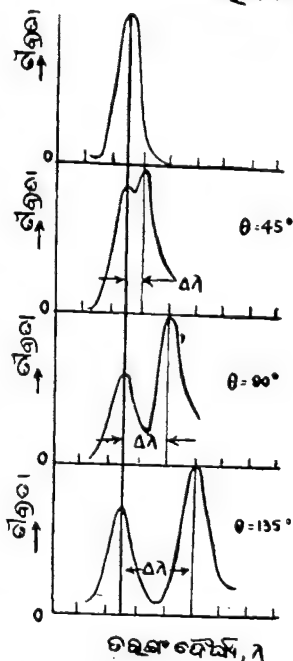
କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରକାଶନକୁ ଫୋଟନ ଓ

ପ୍ରକାଶନ ପଦାର୍ଥରେ ଥିବା ସ୍ଥିର

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ମଧ୍ୟରେ ଛିଡ଼ିସ୍ଥାପକ

ସଂଘଟନ (elastic collision)

କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରକାଶନ ପାଇଁ ଉପକରଣ  
ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିସ୍ତାପନ



ଚିତ୍ର (3.4)

ବୋଲି ଧରି ନେଲେ ସବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ (Conservation of Momentum)  
ନିମ୍ନ ଅନୁସାରେ (ଚିତ୍ର 3.5 ଦେଖ)

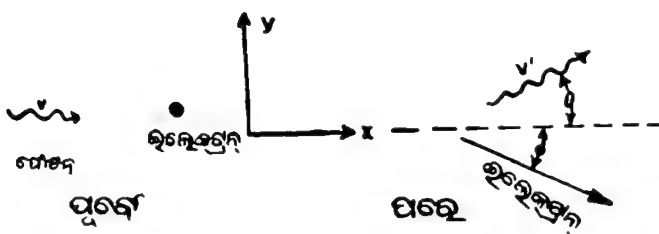
$$x \text{ ଦିଗରେ } \frac{h\nu^1}{c} \cos \theta + P \cos \phi = \frac{h\nu}{c} \quad (3.7)$$

$$y \text{ ଦିଗରେ } \frac{h\nu^1}{c} \sin \theta - P \sin \phi = 0 \quad (3.8)$$

ସେହିଠାରେ

$P$  = ସଂଘଟନ (Collision) ପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସବେଗ  $\nu^1$  = ସଂଘଟନ  
ପରେ ପ୍ରକାଶିତ ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତ ସେହେତୁ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଆମେ ଛିତିସ୍ଥାପକ  
ସଂଘଟନ ବୋଲି ଧରି ନେଇଛୁ, ତେଣୁ

$$h\nu = h\nu^1 + \text{ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି} \quad \dots (3.9)$$



ଚିତ୍ର (3.5)

(7) ଓ (8) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$Pc \cos \phi = h\nu - h\nu^1 \cos \theta \quad \dots (3.10)$$

$$\text{ଏବଂ } Pc \sin \phi = h\nu^1 \sin \theta \quad (3.11)$$

ଉପରେକ୍ତ ସମୀକରଣର ବର୍ଗକୁ ମିଶାଇଲେ

$$P^2 c^2 = (h\nu)^2 - 2 h\nu h\nu^1 \cos \theta + (h\nu^1)^2 \quad \dots (3.12)$$

(1.14) ନମ୍ବର ସମୀକରଣ ଅନୁସାରେ

$$E^2 = E_T^2 + m_0^2 c^4 + 2 E_T m_0 c^2$$

$$\text{କିମ୍ବା } E_T^2 + 2 E_T m_0 c^2 = E^2 - m_0^2 c^4$$

$$= \frac{m_0^2 c^4}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} - m_0^2 c^4$$

$$= P^2 c^2 \quad \dots (3.13)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $E =$  ପ୍ରକାଶିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି

$E_T =$  ପ୍ରକାଶିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି

ଏବଂ  $P =$  ପ୍ରକାଶିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସବେଗ

(3.9) ଓ (3.13) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରୁ ମିଳେ

$$P^2 c^2 = (hv - hv^1)^2 + 2m_0 c^2 (hv - hv^1) \dots (3.14)$$

(3.12) ଓ (3.14) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରୁ ଅମେ ପାଉଁ

$$m_0 c^2 hv - m_0 c^2 hv^1 = hv(1 - \cos \theta) hv^1 \dots (3.15)$$

ଉପରୋକ୍ତ ସମୀକରଣକୁ  $h^2 c^2$  ଦ୍ୱାରା ଭାଗକଲେ

$$\lambda^1 = \lambda + \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

ଯେଉଁଠାରେ ଅମେ ନେଇଛୁ  $\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$

ଏହି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ବସ୍ତୁପନ (Shift) ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ଫଳ ସହଜ ମିଳିଗଲା ।

ଅପଚିତ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିରୁ କେତେକ ଅଂଶ ସ୍ଥିର ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବେଶୀ ହେଉ ଥିବାରୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରତିସେପ (recoil) ଏତେ କମ୍ ହୁଏ ଯେ ଫୋଟନ ଶକ୍ତିର ଦ୍ରାସ ପ୍ରାୟ ହୁଏ ନାହିଁ କିନ୍ତୁ ଚଳେ । ତେଣୁ ପ୍ରକାଶିତ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅପଚିତ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ତପାତ୍ ଅତି କମ୍ ହୁଏ । ସେଥିପାଇଁ ତାହା ଜଣାଯାଏ ନାହିଁ ।

## ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ଚିତ୍ର (3.2) ରେ ଦିଆ ଯାଇଥିବା ବନ୍ଧୁରେଖା C ଏବଂ A ସାହାଯ୍ୟରେ  $h/e$  ର ମାନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
2. ଫୋଟୋସିପ୍‌ର ଦେହଳି ଆବୃତ୍ତ (Threshold frequency) ସେକେଣ୍ଡକୁ  $3 \times 10^{14}$  ହେଲେ, ତାହାର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ (Work function) ର ପରିମାଣ କେତେ ? ( $2.0 \times 10^{-13}$  ଅର୍ଗ)

3. ସୋଡ଼ିୟମ ପୃଷ୍ଠରୁ ସଂଯୋଜିତ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ  $5830 \text{ \AA}$  ଦ୍ଵାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ । ତେବେ ସୋଡ଼ିୟମ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ ଇ: ଭ: ରେ ପ୍ରକାଶ କର । ( $2.13 \text{ ଇ:ଭେ:}$ )
4. ଗୋଟିଏ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ  $2 \text{ ଇ:ଭେ:}$  ହେଲେ, ସେହି ପୃଷ୍ଠରୁ  $2500 \text{ \AA}$  ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଆଲୋକ ଦ୍ଵାରା ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଯୋଜିତ ଗତି ଶକ୍ତି କେତେ ?
5. ସୋଡ଼ିୟମ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ  $2.13 \text{ ଇ:ଭେ:}$  ହେଲେ,  $4500 \text{ \AA}$  ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଦ୍ଵାରା ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଯୋଜିତ ବେଗ କେତେ ? ( $4.6 \times 10^7 \text{ ସେ:ମି: / ସେକେଣ୍ଡ}$ )
6.  $3000 \times 10^{-8} \text{ ସେ:ମି:}$  ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ରୁମ୍‌ବ୍ଲ୍ୟାୟ୍ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ଵାରା ଏକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ । ଯଦି ସଂଯୋଜିତ  $2 \text{ ଭୋଲ୍ଟ}$  ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଦ୍ଵାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ, ତେବେ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ ବାହାର କର । ( $2.1 \text{ ଇ:ଭେ:}$ )
7. ଏକ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ସେଲ (Photo Cell) ଉପରେ  $3000 \text{ \AA}$  ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ପଡ଼ିବାରୁ ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି ହେଲା  $1.6 \text{ ଇ:ଭେ:}$  ତେବେ ସେହି ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ସେଲର ଦେହଲି ଆବୃତ୍ତି (Threshold Frequency) କେତେ ?  
( $h = 6.6 \times 10^{-27} \text{ ଅର୍ଗ-ସେକେଣ୍ଡ}$ ) ( $4950 \text{ \AA}$ )
8. ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେତେବେଳେ ଏକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରେ ସେକେଣ୍ଡକୁ  $8 \times 10^{12}$  ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ପଡ଼େ— $1.8 \text{ ଭୋଲ୍ଟ}$  ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଦ୍ଵାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ ଓ ସେକେଣ୍ଡକୁ  $5.5 \times 10^{12}$  ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ପଡ଼ିଲେ— $1.7 \text{ ଭୋଲ୍ଟ}$  ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଦ୍ଵାରା, ତେବେ ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ କେତେ ? ( $6.4 \times 10^{-27}$ )
9. ପୋଟାସିୟମ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରୁ  $5890 \text{ \AA}$  ଏବଂ  $2537 \text{ \AA}$  ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ଦ୍ଵାରା ଉତ୍ସର୍ଜିତ ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତିଶକ୍ତି ଯଥାକ୍ରମେ  $.36 \times 1.6$  ଅର୍ଗ ଓ  $3.14$  ଅର୍ଗ ହେଲେ—  
(a) ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ କେତେ ?

(b) ପୋଟାସିୟମର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ କେତେ ?

(c) ପୋଟାସିୟମ ପୃଷ୍ଠରୁ କେଉଁ ସଙ୍ଗୋତ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ଦ୍ଵାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜିତ ହୋଇପାରେ ?

( (a)  $6.63 \times 10^{-27}$  ଆର୍ଗ-ସେକେଣ୍ଡ, (b) 1.75 ଇଃ ଗ୍ରେ: )

(c) 7100 Å.)

10. .10 Å ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜିତ ରଶ୍ମିର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ଓ ଫ୍ରେକ୍ଵେନ୍ସିର ପରିମାଣ କେତେ ?

11. ଏକ ସ୍ଥିର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଦ୍ଵାରା .20 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜିତ ରଶ୍ମି ନିଜର ଗତି ପଥ ସହ 90° କୋଣ କରି ପ୍ରକାଶ୍ଟି (Scattered) ହେଲା । ତେବେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର କମ୍ପଟନ ବିସ୍ଥାପନର ପରିମାଣ କେତେ ଓ ପ୍ରକାଶ୍ଟି ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? (.024 Å, 0.22 Å)

12.  $250 \times 1.6 \times 10^{-9}$  ଆର୍ଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରକାଶ୍ଟି ହେଲା । ଯଦି ପ୍ରକାଶ୍ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ଶକ୍ତି  $200 \times 1.6 \times 10^{-9}$  ଆର୍ଗ ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରକାଶ୍ଟି ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? (.248 Å)

# ଚତୁର୍ଥ ଅଧ୍ୟାୟ ପରମାଣୁ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ( Atomic Physics )

ବହୁ ପୁରକାଳରୁ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ପରମାଣୁସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପ୍ରକଳ୍ପର (Atomic hypothesis) କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ । ଏହା ଅତି ସରଳ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ପ୍ରାୟ ଉନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଆରମ୍ଭ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହାକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ରୂପେ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଇ ନ ଥିଲା । 1803 ମସିହାରେ ଜାଲଟନ୍ (Dalton) ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ପରମାଣୁ ତତ୍ତ୍ୱ ଉପରେ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ଏହାର ୫ ବର୍ଷ ପରେ ଆଭେଗାଡ୍ରୋ ଜାଲଟନ୍‌ଙ୍କ ପରମାଣୁ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଯୁକ୍ତ ଦେଖାଇ ଏହାର ସଂଶୋଧନ କଲେ । ସେ ପ୍ରମାଣ କଲେ ଯେ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ସୁଦୃଢ଼ତମ ବସ୍ତୁକଣା ପରମାଣୁ ହିଁ ଅଟେ । ସେ କୌଣସି ଏକ ଯୌଗିକ (Compound) ପଦାର୍ଥ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ଗଠିତ ଓ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥର ସେ କୌଣସି ଅଣୁରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ।

ସେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ମୌଳିକ (Element) ଉପାଦାନର ସଂଯୋଗ ହୋଇ ଏକାଧିକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ସେତେବେଳେ ମୌଳିକ ଉପାଦାନର ପରମାଣୁ ପରସ୍ପର ସହଜ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟାରେ ସଂବନ୍ଧିତ (Related) ଅଟନ୍ତି । ପରମାଣୁସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଚିନ୍ତାଧାରା ଉପରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ଅଣୁଗତିତତ୍ତ୍ୱ (Kinetic theory) ଦ୍ୱାରା ବାୟୁ ଗୁପ୍ତର ସଠିକ ଧାରଣା କରି ହୁଏ । ଏହା ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ବାୟୁର ସାନ୍ଦ୍ରତା (Density) ବିସରଣ (diffusion) ଓ ଶ୍ୟାନତା (Viscosity) ର ଗୁଣାଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂବନ୍ଧ ବାହାର କରାଯାଇପାରେ । ଅଣୁଗତିତତ୍ତ୍ୱରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତି ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ତାପର ଉତ୍ପତ୍ତି ହୁଏ । ଏହାସହ କାରଣରୁ ପରମାଣୁସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଚିନ୍ତାଧାରା ଠିକ୍ ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା ।

ପ୍ରାୟ ଉନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଶେଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସେତେଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ରାକୃତିକ ଦୃଶ୍ୟ ଉଦ୍‌ଭାବନ ହୋଇଥିଲା, ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ସେଗୁଡ଼ିକର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା (Theoretical explanation) କରିବାକୁ ଆଂଶିକ ଭାବରେ କ୍ଷମ

ହୋଇଥିଲେ ଓ କେତେକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ସବୁ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣା ଉଦାହରଣ ହୋଇଗଲା ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ । କିନ୍ତୁ 1895 ରୁ 1905 ମଧ୍ୟରେ କେତେକ ନୂଆ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣା ଉଦାହରଣ ଦେଲା ଯେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ସ୍ୱସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ (classical theory) ଅନୁସାରେ ବୁଝାଇବା ସମ୍ଭବ ଦେଲା ନାହିଁ । ସେଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଚିନ୍ତାଧାରାର ଆବଶ୍ୟକତା ପଡ଼ିଲା । ସେହି ନୂତନ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣା ଓ ଚିନ୍ତାଧାରାଗୁଡ଼ିକ ହେଲା—

- (a) ରଞ୍ଜିତ ରଶ୍ମିର ଉଦ୍ଭାବନ ।
- (b) ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁର (Radio-active) ଉଦ୍ଭାବନ ।
- (c) ଥମ୍ପସନ୍ (Thompson) ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉଦ୍ଭାବନ ।
- (d) ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ।
- (e) ମାଇକେଲ୍ସନ୍ ଓ ମର୍ଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ।
- (f) ଆଇନ୍ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ।

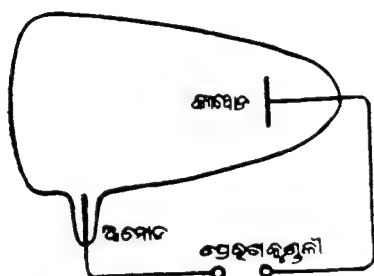
ଏହିସବୁ ନୂତନ ଘଟଣା ଓ ଚିନ୍ତାଧାରାକୁ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଆଖ୍ୟା ଦିଆଗଲା ।

ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ଆଲୋକର କଣିକାତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକର ବ୍ୟତିକରଣ, ବିକୀର୍ଣ୍ଣନ, ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଇତ୍ୟାଦି କେତେକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ବୁଝାଇ ଦେଲା ନାହିଁ । ତେଣୁ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗତତ୍ତ୍ୱ ଠିକ୍ ବୋଲି ଧରି ନେଇଗଲେ । ଫାରାଡେଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ ଅପଘଟନ (electrolysis) ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ବିଦ୍ୟୁତ ମଧ୍ୟ ପରମାଣୁଗାୟ ଜାତୀୟ ଅଟେ । 1831 ମସିହାରେ ଫାରାଡେ (Faraday) ଏବଂ ହେନେରୀ (Henry) ବିଦ୍ୟୁତ ରୁମ୍ଭାଜୀ ପ୍ରେରଣ (electro-magnetic induction) ଉଦ୍ଭାବନ କଲେ । 1847 ରେ ଯୁଲ୍ (Joule) ତାପ ଶକ୍ତି ଓ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ପର୍କ ସ୍ଥାପନ କଲେ । ତାପରେ ମାକ୍‌ଗୁଲ୍ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ଏକ ଦୋଳାୟମାନ (oscillatory) ଶୂନ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତ ରୁମ୍ଭାଜୀ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରିପାରେ । 1887 ରେ ହର୍ଜ୍ ଏହାକୁ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରମାଣ କଲେ ।

## ୧ । ରଞ୍ଜିତ ରଶ୍ମିର ଉଦ୍ଭାବନ

1895 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ ଆଧ୍ୟାପକ ରନ୍ଡଲେନ୍ ନିମ୍ନୋପରେ ଥିବା ବିସର୍ଜନ ନଳ (discharge tube) ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପରିବହନ (conduction of electricity)

ଉପରେ ଗବେଷଣା କରୁଥିଲେ । ସେ ବିସର୍ଜନ ନଳକୁ ଏକ କଳା କାଗଜ ଦ୍ଵାରା ଘୋଡ଼ାଇ ରଖିଥିଲେ । ସେ ବ୍ୟବହାର କରିଥିବା ଉପକରଣଟି ଚିତ୍ର (4.1) ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।



ରଞ୍ଜନ ବିସର୍ଜନ ନଳ  
ଚିତ୍ର (4.1)

ଗବେଷଣା କରୁଥିବା ସମୟରେ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ପାଖରେ ରହୁଥିବା ପ୍ରତିଫାପ୍ତି (Fluorescent) ପରଦା ଆଲୋକିତ ହୋଇଗଲା । ସେ ଜାଣି ପାରିଲେ ତାଙ୍କ ଉପକରଣରୁ ଏକପ୍ରକାର ଅଦୃଶ୍ୟ ବିକିରଣ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରତିଫାପ୍ତି ପରଦାଟି ଆଲୋକିତ ହେଉଛି । ସେ ଏହି ଅଦୃଶ୍ୟ ବିକିରଣର ନାମ ଏକ୍ସ-ରେଜ୍ (X-Rays)

ବୋଲି କହିଲେ । ଅନ୍ୟମାନେ ଏହି ବିକିରଣକୁ ତାଙ୍କର ନାମାନ୍ତ୍ରଣରେ ‘ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି’ ବୋଲି ନାମକରଣ କଲେ । ଅଧ୍ୟାପକ ରନ୍ଡଜେନ୍ ତାଙ୍କ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣରୁ (observation) ନିମ୍ନଲିଖିତ ସତ୍ୟ ପାଇ ପାରିଥିଲେ :—

1. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଦ୍ଵାରା ଅସ୍ଵକାଂଶ ପଦାର୍ଥ ପ୍ରତିଫାପ୍ତି ହୁଏ ।
2. ଫଟୋଗ୍ରାଫିକ୍ ପ୍ଲେଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଦ୍ଵାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ ।
3. ବହୁ, ପାତଳ କାଠ ପରଦା ପ୍ରଭୃତି ପଦାର୍ଥ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପାଇଁ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସ୍ଵଚ୍ଛ । ଆଲୁମିନିୟମ ଜାତୀୟ ପଦାର୍ଥ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପାଇଁ ଅଂଶିକ ଭାବରେ ସ୍ଵଚ୍ଛ । କିନ୍ତୁ ସୀସା (lead) ଗୋଟିଏ ଅସ୍ଵଚ୍ଛ ପଦାର୍ଥ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଦ୍ଵାରା ଦାଡ଼ ଓ କଠିନ ଧାତୁ ପ୍ରଭୃତି ଦେଇ ଯାଇପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ପ୍ରତିଫାପ୍ତି ପରଦା ଉପରେ ଏହାର ଛାଇ ପଡ଼େ ।
4. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ସରଳରେଖାରେ ଗତିକରେ ।
5. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ରୂମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ଵାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ ନାହିଁ ।
6. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଗର୍ଜିତ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ ବିସର୍ଜନ (discharge) କରିଦିଏ ।

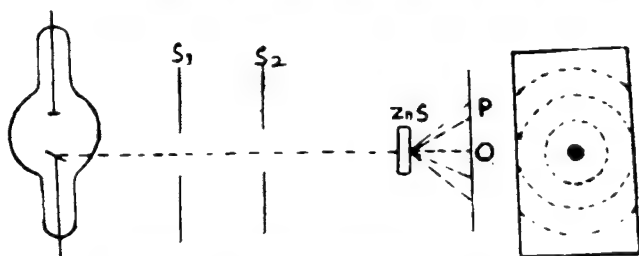


7. କୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଉପରେ କ୍ୟାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି ପଡ଼ିଲେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ନିର୍ଗତ ହୁଏ । ରନ୍ଥଜେନ୍ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜାଣିଲେ ଯେ ପ୍ଲୁଟିନମ୍ ପ୍ରଭୃତି ଓଜନୀୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଦ୍ଵାରା ପଦାର୍ଥ ଭୁଲନାରେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ସୃଷ୍ଟି କରିବା ପାଇଁ ଅଧିକ ଉପଯୋଗୀ ଅଟେ ।

ସେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ସୃଷ୍ଟି କରିବା ପାଇଁ ଅବତଳ କ୍ୟାଥୋଡ଼ (Concave Cathod) ଓ ପ୍ଲୁଟିନମ୍ ଫଳକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଛି । ପ୍ଲୁଟିନମ୍ ଫଳକଟିକୁ କ୍ୟାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥ ସହଜ 45° କୋଣ କରି ରଖା ଯାଇଥିଲା, ଯାହା ଫଳରେ ଅବତଳ କ୍ୟାଥୋଡ଼ରୁ ନିର୍ଗତ କ୍ୟାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି ପ୍ଲୁଟିନମ୍ ଫଳକ ଉପରେ ଏକ ଜାଗାରେ ଫୋକସ୍ ହେଉଥିଲା ।

## ୨ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିଚ୍ଛେଦନ ( Diffraction of X-Rays )

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉଦ୍ଭାବନ ପରେ ଏହା ଏକ ପ୍ରକାର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ରୁଦ୍ଧାୟୀ ତରଙ୍ଗ ବୋଲି କଳ୍ପନା କରାଯାଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ବହୁଦିନ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିଚ୍ଛେଦନ ଉପରେ କୌଣସି ପରୀକ୍ଷା ହୋଇ ପାରି ନ ଥିଲା । କାରଣ ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହୋଇଥିବାରୁ ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିଚ୍ଛେଦନ ପାଇଁ ଅନୁପଯୁକ୍ତ । କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଭିତରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ନିୟମିତ ଦୂରତାରେ ରହିଥାଏ ତେଣୁ କ୍ରିଷ୍ଟାଲଗୁଡ଼ିକ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିଚ୍ଛେଦନ



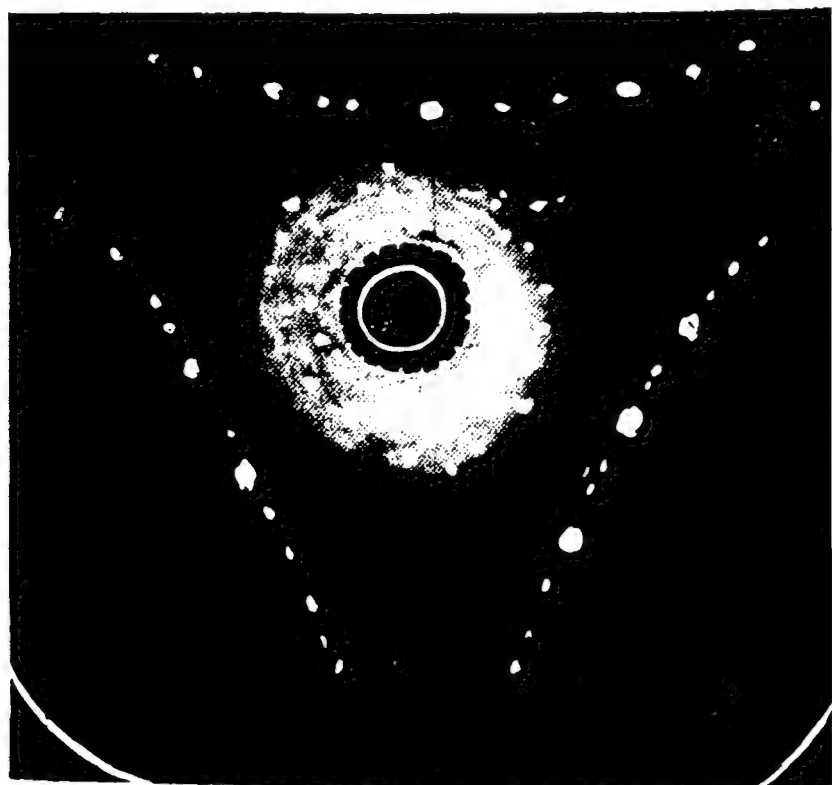
ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିଚ୍ଛେଦନ ପାଇଁ  
ଉପକରଣ

ଚିତ୍ର (1.2)

ପାଇଁ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରୁଥିବା ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଗଲା । ପ୍ରଥମେ ଭନ୍ ଲାଉ (Von Laue) ଫ୍ରିଡ୍ରିଚ୍ (Friedrich) ଏବଂ କ୍ନିପ୍ପିଙ୍ଗ୍ (Knipping) ଜିଙ୍କ୍ ସଲ୍‌ଫାଇଡ୍ (Zinc sulphide) କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ବ୍ୟବହାର

କରି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ଚାଷ ପାଇବାକୁ ସମ ହୋଇଥିଲେ । ସେମାନେ ବ୍ୟବହାର କରୁଥିବା ଉପକରଣଗୁଡ଼ିକ ଚାଷ (4.2) ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।

ବିବର୍ତ୍ତନ ଚାଷର ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍‌ରୁ ସେମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ କେନ୍ଦ୍ର ବିନ୍ଦୁର ଶୁଦ୍ଧପାଖେ ନିୟମିତ ଦୂରତାରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ କଳା ବିନ୍ଦୁ ଅଛି । ଏହି ଚାଷ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରଥମେ ପ୍ରମାଣ ହେଲା ଯେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଏକ ପ୍ରକାର ତରଙ୍ଗ ଓ ଡିଫ୍ରାକ୍ଟ ଭାବରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ନିୟମିତ ଦୂରତାରେ ଥାଆନ୍ତି । ଚାଷ (4.3) ରେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବିବର୍ତ୍ତନର ଏକ ଅଧୁନିକ ଚାଷ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।



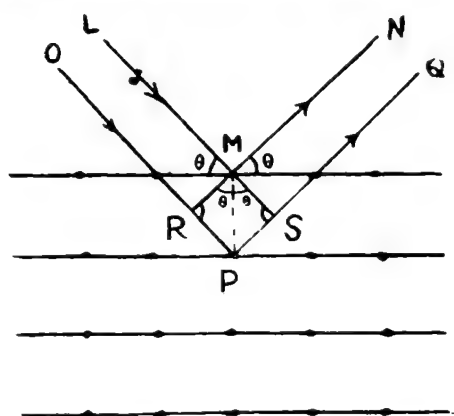
ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଏକ ଆଧୁନିକ  
ବିବର୍ତ୍ତନ ଚିତ୍ର

ଚାଷ (4.3)

# ୩ । କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ତତ୍ତ୍ୱ—ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ (Theory of Crystal grating and Bragg's Law )

କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍‌ଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ-(grating element) ଗୁଡ଼ିକ ଏକ ସମତଳରେ ଥାଏ ! କିନ୍ତୁ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମତଳରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ ଭାବରେ କାମ କରନ୍ତି । ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମତଳରେ ରହି ପାରନ୍ତି ଓ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମତଳର ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ ଭିନ୍ନ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଛବିଶ ଗୁଡ଼ିକ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଉପରେ ପଡ଼ିଲେ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ବିଭିନ୍ନ ସମତଳରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପ୍ରକାଶିତ (Scattered) ହୁଏ । ପାର୍ଶ୍ୱ ଚକ୍ଷରେ  $\lambda$  ଉଦ୍ଦୀର୍ଘ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଗୁଡ଼ିକ ଏକ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର AB ସମତଳ ପୃଷ୍ଠ ସହ  $\theta^\circ$  କୋଣ କରି ଆପତ୍ତିତ (incident) ହୋଇଛି । ଯଦି ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ ସମକାଳରେ ରହିବେ, ତେବେ ଏକ ଘାତ୍ତ୍ୱ (Intense) ପ୍ରତିଫଳିତ ଛବିଶ ଗୁଡ଼ିକ ମିଳିବ ଓ ଏହି ଛବିଶ ଗୁଡ଼ିକ ସମତଳ ସହ  $\theta^\circ$  କୋଣ କରିବ । ଚକ୍ଷରେ LMN ଓ OPQ ଦୁଇଟି ରଶ୍ମି ଦୁଇଟି ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ସମତଳରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଉଛି । ମନେକରି P ଠିକ୍ M ର ତଳେ ଅଛି, ଯଦି MR ଏବଂ MS, M ଠାରୁ PO ଓ PQ ଉପରକୁ ଟେଣା ଯାଇଥିବା ଲମ୍ବ ହୁଏ, ତେବେ ଦୁଇଟି ରଶ୍ମିର ପଥାନ୍ତର ହେଲା  $RP+PS$  । ବ୍ୟତିକରଣ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଯଦି  $RP+PS = n\lambda$  ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମି ଘାତ୍ତ୍ୱ ହେବ । ପାର୍ଶ୍ୱ ଚକ୍ଷରୁ ମିଳେ  $RP=PS=\overline{MP}$   $\sin \theta = d \sin \theta$ , ଯଦି ଦୁଇ ସମତଳରେ ଦୂରତା  $d$  ହୁଏ । ତେବେ  $2d \sin \theta = n\lambda$  (4.1)

ଏହି ସମୀକରଣକୁ ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ କହନ୍ତି ।



ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ପ୍ରତିଫଳନ

ଚିତ୍ର (4.4)

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ଦ୍ଵାରା ଦ୍ଵିଷ୍ଟାଳ ଉତ୍ତରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥିତି ଜାଣି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ, ପରମାଣୁର ଓଜନ, ଦ୍ଵିଷ୍ଟାଳର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ ଅଭ୍ରୋଗାତ୍ମୋ ସଂଖ୍ୟା ଜାଣି ହୁଏ ।

ଉଦାହରଣ—

ସୋଡ଼ୟମ କ୍ଲୋରାଇଡର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ଦୂରରେ ଥିଲେ ଦୁଇ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଦୂରତା କେତେ ?

ମନେକର  $d$  = ଦୁଇ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା

ତେବେ  $d^3$  ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ ରହେ । ଅମେ ଜାଣୁ 58.45 ଗ୍ରାମ୍ ଓଜନର ସୋଡ଼ୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ୍ ଉତ୍ତରେ  $2 \times N$  ଟି ପରମାଣୁ ଥାଏ, ତେବେ

$$d^3 \times 2N = \frac{58.45}{\rho}$$

ଯେଉଁଠାରେ  $\rho$  = ସୋଡ଼ୟମ କ୍ଲୋରାଇଡର ସାନ୍ଦ୍ରତା

$N = 6.0247 \times 10^{23}$  = ଅଭ୍ରୋଗାତ୍ମୋ ସଂଖ୍ୟା

$$\text{ତେଣୁ } d = \left( \frac{58.45}{2 \rho N} \right)^{\frac{1}{3}} = 2.814 \times 10^{-8} \text{ ସେ:ମି:}$$

ଉଦାହରଣ—

ଏକ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିରଣ ଗୁଡ଼ିକ ସୋଡ଼ୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ୍ ଦ୍ଵିଷ୍ଟାଳ ଦ୍ଵାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ ହେଲା । ଯଦି ପ୍ରଥମ ପ୍ରକାର ବିବର୍ତ୍ତନ କୋଣ (First order angle of diffraction)  $10^\circ$  ହୁଏ, ତେବେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

ପୂର୍ବ ଉଦାହରଣରୁ ଅମେ ଜାଣୁ  $d = 2.81 \text{ \AA}$

$$\text{ତେଣୁ } \lambda = 2(2.81 \text{ \AA}) \sin 10^\circ = 2 \times 2.81 \times 0.1736 \text{ \AA} = .976 \text{ \AA}$$

## ୪ । ଉଦ୍ଘାତନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ

ନିମ୍ନରୂପରେ ଥିବା କୌଣସି ଗ୍ୟାସ ଉତ୍ତର ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବିସର୍ଜନ (Electric discharge) କରାଗଲେ ସେହି ଗ୍ୟାସର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ ମିଳେ । ସେ କୌଣସି ମୌଳିକ ଉପାଦାନର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରେ ଥିବା ଅଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସବୁବେଳେ ସମାନ ।

1885 ମସିହା ସୁଦ୍ଧା ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର 4 ଟି ଅଲୋକ ରେଖା ଉଦ୍‌ଭବନ କରା ଯାଇଥିଲା । ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକ  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$  and  $H_{\delta}$  ନାମରେ ନାମିତ ହୋଇଥିଲା । 1885 ରେ ବାମାର୍ (Balmer) ଗୋଟିଏ ସୂତ୍ର ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ଯାହା ଦ୍ଵାରା କି ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହସାବ କରି ବାହାର କରାଯାଇ ପାରିଲା ଓ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ପରିମାଣ ସହଜ ସମାନ ହେଲା । ତାଙ୍କ ଅନୁଭବିକ (empirical) ସୂତ୍ରଟି ହେଲା :—

$$\lambda = 3645.6 \frac{n^2}{n^2 - 4} \text{ \AA} \quad (4.2)$$

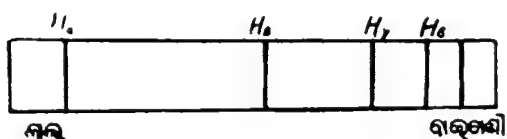
ଯେଉଁଠାରେ  $n=3, 4, 5 \dots\dots\dots$

ଉକ୍ତ ସୂତ୍ରକୁ ରିଡବର୍ଗ (Rydberg) ଭିନ୍ନ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (4.3)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $n=3, 4, 5 \dots\dots\dots$

ଏବଂ  $R = 109700 \text{ ସେ.ମି.}^{-1}$

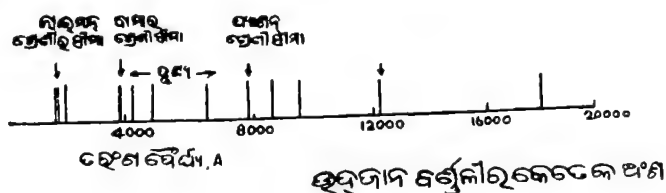


ଉଦ୍‌ଜାନ ବୋମାର ଶ୍ରେଣୀ ରେଖାସ୍ପତିକ.

ଚିତ୍ର (4.5)

(4.3) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରେ  $\left(\frac{1}{2^2}\right)$  ଜାଗାରେ  $\left(\frac{1}{1^2}\right)$  ଲେଖିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ଏକ ଶ୍ରେଣୀର ଅଲୋକ ରେଖା ମିଳେ । ଏହି ଶ୍ରେଣୀର ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅତି ବାରମଣି (Ultraviolet) ଅଲୋକର ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ । ଏହି ଶ୍ରେଣୀର ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଲାଇମାନ (Lyman) ଶ୍ରେଣୀ କୁହାଯାଏ । ସେହିପରି  $\left(\frac{1}{2^2}\right)$  ଜାଗାରେ  $\left(\frac{1}{3^2}\right)$  ଲେଖିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ଏକ ଶ୍ରେଣୀର ଅଲୋକ ରେଖା ମିଳେ । ସେଗୁଡ଼ିକ ଅବଲୋହତ (Infrared) ଅଲୋକ ରଶ୍ମିର

ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ଓ ସେହି ଶ୍ରେଣୀର ଅଲେକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ପାଶେନ୍ ଶ୍ରେଣୀ (Paschen,



ଚିତ୍ର (4.6)

Series) କୁହାଯାଏ । 1913 ମସିହାରେ ନିଲ୍ସବୋର (Niels Bohr) ଏହାର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ ।

## ୫ । ପରମାଣୁର ଗଠନ

ପରମାଣୁର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ 1815 ରେ ପ୍ରାଉଡ଼େ (Prout) ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୌଳିକ ପରମାଣୁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଉଦଜାନ ପରମାଣୁକୁ ନେଇ ଗଠିତ । କିନ୍ତୁ ପରସ୍ପରାଭିଜ୍ଞାନ ଯେ ସବୁ ପରମାଣୁର ଓଜନ ଉଦଜାନ ପରମାଣୁ ଓଜନର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣିତକ (Exact Multiple) ନୁହେଁ । ତେଣୁ ପ୍ରାଉଡ଼େଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଗ୍ରହଣ ଯୋଗ୍ୟ ହେଲା ନାହିଁ ।

ଡେଭିସ୍‌ସନ ପରମାଣୁର ଉଦ୍‌ଭାବନ ପରେ ଜଣାଗଲା ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ ଅନ୍ତର୍ଗତରେ ସମାନ ପରିମାଣର ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ (Positive charge) ଓ ରୂପାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ରହୁଥିଲା । ଏହାପରେ ଜେ. ଜେ. ଥମ୍ପସନ (J. J. Thompson) ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ପରମାଣୁର ଆକାର ଗୋଲ ଓ ଏହା ଭିତରେ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ପୂରି ରହିଥାଏ ଓ ରୂପାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଜାଗାରେ ଏପରି ଭାବରେ ଥାଏ ଯେ ପରମାଣୁଟି ସ୍ଥାୟୀ ଓ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ (Neutral) ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ୧୯୧୧ ରେ ରଦରଫୋର୍ଡ୍ (Rutherford) ଏ ରଶ୍ମିର ପ୍ରକାଶିତ (Scattering) ଉପରେ ଗବେଷଣା କରୁ କରୁ ପରମାଣୁର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନୂତନ ସତ୍ୟ ପାଇଲେ । ତାଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରୁ ହେଲା, ସେ ଏକ ପାତଳ ସୁନା ଫଲକ ଉପରେ ଏକ ପାର୍ଶ୍ୱରୁ ଏ ରଶ୍ମି ନିଷେପ କରାଇ ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ପ୍ରକାଶିତ ଏ ରଶ୍ମିର ଗତି ଏକ ପ୍ରତିଫଳିତ (Fluorescence) ପରିଦା ହାଲୁ ଅନୁସନ୍ଧାନ କରୁଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଅଧିକାଂଶ ଏ ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଛି । କିନ୍ତୁ ଅଳ୍ପ କେତୋଟିର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ 90° ଠାରୁ ବି ବେଶୀ ହେଉଛି ।

ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟ ଅନୁସନ୍ଧାନ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନା (Model) ଦ୍ଵାରା ବୁଝାଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ । ତେଣୁ ସେ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନୂତନ ନମୁନା ପ୍ରକାଶ କଲେ । ତାଙ୍କ ନମୁନା ଅନୁସାରେ ପରମାଣୁର କେନ୍ଦ୍ରରେ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଯୁକ୍ତ ଏକ ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର କଣିକା ରହୁଛି, ଯାହା ନିଉକ୍ଲିୟସ ନାମରେ ପରିଚିତ । ଏହି ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାରିପାଖେ ଋଣାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଏପରି ଭାବରେ ଘେରି ରହୁଥାଏ ଯେ ଋଣାତ୍ମକ ଓ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ମଧ୍ୟରେ ଯଥେଷ୍ଟ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ଥାଏ । ଯାହା ଭିତର ଦେଇ ୫ ରଶ୍ମି ଅତି ସହଜରେ ସୁନା ଫଳକକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଯାଏ ।

## ୭ । ବୋରଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନା ( Bohr's Atom model )

1913 ମସିହାରେ ନିଲ୍ସବୋର (Niels Bohr) ରଦରଫୋର୍ଡଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନାକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ତାତ୍ତ୍ଵିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରି ପାରିଲେ । ସେ ଏହି ତତ୍ତ୍ଵ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପାଇଁ କେତୋଟି ସ୍ଵୀକାରକୁ ମାନି ନେଇଥିଲେ । ସେଗୁଡ଼ିକ ହେଲା (1) ଋଣାତ୍ମକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ କୁଲମ୍ବ (Coulomb) ବଳ (Force) ଦ୍ଵାରା ଆକର୍ଷିତ ହୋଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପାଖେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ଅବକ୍ରମ ଗତିରେ ବୁଲୁଥାଏ । (2) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷ-ଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ଯେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର କୌଣସି ଫରାସ (angular momentum) ସବୁବେଳେ  $h/2\pi$  ର ଏକ ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣକ ହୁଏ । (3) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିବା ସମୟରେ ଆଲୋକ ବିକିରଣ ହୁଏ ନାହିଁ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତଳ କକ୍ଷରୁ ଉପରକୁ ଗଲେ ଶକ୍ତି ଅବଶୋଷଣ (absorb) କରେ । ଉପର କକ୍ଷରୁ ତଳ କକ୍ଷକୁ ଆସିଲେ ଶକ୍ତି ଆଲୋକ ଆକାରରେ ବିକିରଣ କରେ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତଳ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରୁ ଉପର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷକୁ ଗଲେ ସେହିକି ଶକ୍ତି ଅବଶୋଷଣ କରିଥାଏ, ସେହି ଉପର କକ୍ଷରୁ ତଳ କକ୍ଷକୁ ଆସିଲେ ଠିକ୍ ସେହିକି ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଆଲୋକ ଆକାରରେ ବିକିରଣ କରେ ସେହି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ

$$h\nu = W_2 - W_1 \quad (4.4)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $h =$  ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ।

$v =$  ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଅଲୋକର ଆବୃତ୍ତି ।

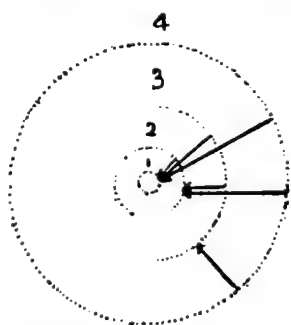
$W_2 =$  ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉପର କକ୍ଷରେ ଥିବାବେଳେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ।

$W_1 =$  ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତଳ କକ୍ଷରେ ଥିବାବେଳେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ।

ଏହି ସବୁ ସ୍ୱୀକାରକୁ ମାନି ନେଇ ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁରୁ ବିପଦି ଅଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଦେଉଛି ତାହାର ଅଲୋଚନା କରା ।

ଉଦ୍‌ଜାନର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସବୁବେଳେ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥାଏ । ଏହା ବାହ୍ୟ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କଲେ ଏହାର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ଠାରୁ ଦୂରରେ ରହି ୨ୟ କକ୍ଷରେ ବୁଲେ । ଆଉ ବାହ୍ୟ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କଲେ ୩ୟ କକ୍ଷରେ ରହି ବୁଲେ ଓ ବାହ୍ୟଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଅନୁସାରେ ବିଭିନ୍ନ କକ୍ଷରେ ରହି ବୁଲେ । ଯେତେବେଳେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ଦୂରବର୍ତ୍ତୀ କକ୍ଷରୁ ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ କକ୍ଷକୁ ଫେରିଆସେ ତାହା ଅଲୋକ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରେ । ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ପ୍ରଥମ ଓ ଶେଷ କକ୍ଷ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ।

(ଗଣ (4.7) ଦେଖ)



ଉଦ୍‌ଜାନରୁ କେତେକକକ୍ଷ

ଗଣ (4.7)

ପ୍ରଥମ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ୱୀକାରରୁ ପାଇଁ

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r^2} \quad (4.5)$$

$$\text{ଏବଂ } mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

ଯେଉଁଠାରେ  $m =$  ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ

$v =$  ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ

$r =$  କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ

$z =$  ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ଶୁଦ୍ଧ ଉଦ୍‌ଜାନ ପାଇଁ  $z = 1$

$\epsilon_0 =$  ଶୂନ୍ୟତାରେ ତାରାଇଲେକଟ୍ରିକ୍ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ

(Dielectric Constant)



$$n=1, 2, 3$$

$$\text{କିମ୍ବା } v = \frac{nh}{2\pi mr} \quad (4.6)$$

ଯଦି  $T$  ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି ହୁଏ, ତେବେ

ସମୀକରଣ (4.5) ରୁ ଅମେ ପାଉଁ

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)2r} \quad (4.7)$$

ସମୀକରଣ (4.6) ଓ (4.7) ରୁ ମିଳେ

$$r = \frac{n^2 h^2 (4\pi\epsilon_0)}{4\pi m z e^2}$$

ବିଭବ ଶକ୍ତିର (Potential Energy) ପରମାଣୁ ଦେଲୁ

$$= -\frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r} \quad (4.8)$$

ପରମାଣୁର ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି

$$\begin{aligned} w &= \text{ଗତି ଶକ୍ତି} + \text{ବିଭବ ଶକ୍ତି} \\ &= \frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)2r} + \left[ -\frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r} \right] \\ &= -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^2 n^2} \end{aligned} \quad (4.9)$$

ତୃତୀୟ ସ୍ତରୀକାରରୁ ଅମେ ପାଉଁ

$$h\nu = (w_2 - w_1)$$

$$\begin{aligned} \text{କିମ୍ବା } \nu &= \frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^2} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \\ &= CR \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \end{aligned} \quad (4.10)$$

ବାମାର୍ (Balmer) ଶ୍ରେଣୀର ଅଲେକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) n_i = 3, 4 \quad (4.11)$$

ଓ ଲାଇମାନ (Liyman) ଶ୍ରେଣୀର ଅଲେକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) n_i = 2, 3 \quad (4.12)$$

ସମୀକରଣ (4.11) ଓ (4.12) ବାମାରଙ୍କର ଆନୁଭବିକ (empirical) ସୂତ୍ର ସହ ମିଳିଗଲା ଏବଂ ପରମାଣବୀୟ ଧ୍ରୁବାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ନେଇ ବାହାର କରାଯାଇଥିବା ବିଭବର୍ଣ୍ଣ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରମାଣ ଆନୁଭବିକ ପରମାଣ ସହିତ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ରୂପେ ମିଳିଗଲା । ହସାବରୁ ମିଳୁଥିବା କୌଣସି ଶ୍ରେଣୀର ଅଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସଙ୍ଗେ ମିଳିଗଲା । ଏହିଥିରୁ ପ୍ରମାଣ ମିଳିଲା ଯେ ବୋର (Bohr) ଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନା ସୁଦ୍ଧ ଶୂନ୍ୟ ଅଟେ ।

ଉଦାହରଣ—

ଉଦ୍‌ଜାନର ପ୍ରଥମ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ପରମାଣ ଓ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିବାବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ସମୀକରଣ (4.5) ରୁ ପାଇଁ—

$$\begin{aligned}
 r &= n^2 \frac{h^2(4\pi\epsilon_0)}{4\pi^2 m e^2} \\
 &= (1)^2 \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ ଯୁଲ୍ ସେକେଣ୍ଡ})^2}{4\pi^2 \times 9.108 \times 10^{-31} \text{ କି.ଗ୍ରା.} (1.6 \times 10^{-19} \text{ କୁଲମ୍ବ})^2} \times \\
 &\quad \frac{(କୁଲମ୍ବ)^2}{8.99 \times 10^9 \text{ କିଉଟନ (ମିଟର)}^2} \\
 &= 0.53 \times 10^{-10} \text{ ମିଟର} \\
 \text{ଏବଂ } v &= \frac{1}{n} \frac{2\pi e^2}{h(4\pi\epsilon_0)} = \frac{2\pi(1.6 \times 10^{-19} \text{ କୁଲମ୍ବ})^2}{1 \times 6.63 \times 10^{-34} \text{ ଯୁଲ୍ ସେକେଣ୍ଡ}} \\
 &\quad \times 8.99 \times 10^9 \text{ କିଉଟନ (ମିଟର)}^2 / (\text{କୁଲମ୍ବ})^2 \\
 &= 2.2 \times 10^6 \text{ ମିଟର/ସେକେଣ୍ଡ}
 \end{aligned}$$

ଏଠାରେ  $\frac{v}{c} = 0.00073$  ହୋଇଥିବାରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ବ

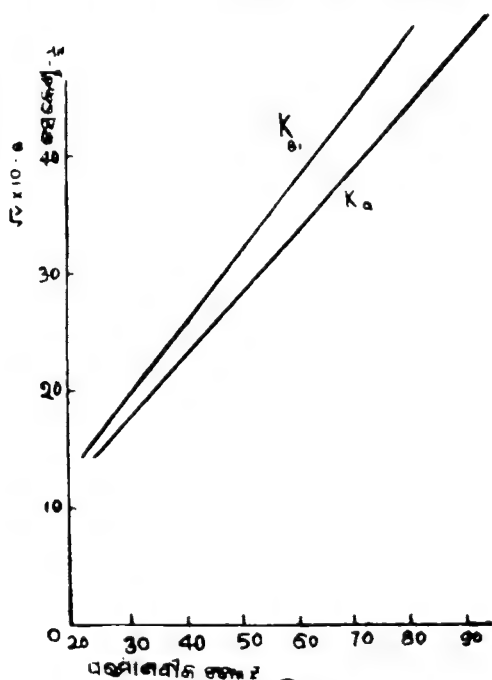
$$\begin{aligned}
 \text{ବୃଦ୍ଧିର ପରମାଣ} &= \sqrt{\frac{m_0}{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \\
 &= 0.000027 m_0
 \end{aligned}$$

ବୋରଙ୍କ ଏହି ମୂଳ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀଗୁଡ଼ିକ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ।

## ୭ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଅଭିଳାଷଣିକ ବିକିରଣ ( Characteristic radiation of X-Rays )

ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବିକିରଣ ସହଜ କେତେକ ଅଭିଳାଷଣିକ ବିକିରଣ (Characteristic radiation) ଥାଏ । ଏହା ପ୍ରଥମେ ବରଖ୍ଲା (Barkla) ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ ଓ ଏହାକୁ K, L ବିକିରଣ ବୋଲି ନାମିତ କରିଥିଲେ । 1913 ମସିହାରେ ମୋସ୍ଲି (Moseley) ବିଭିନ୍ନ ଭୌତିକ ପଦାର୍ଥରୁ ବାହାରୁଥିବା K ବିକିରଣ ଉପରେ ଅନୁସନ୍ଧାନ କରି ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ :—

(1) କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ବାହାରୁଥିବା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଆବୃତ୍ତର ବର୍ଗମୂଳ ପରମାଣୁସଂଖ୍ୟା ସଂଖ୍ୟା ସହଜ ଅନୁପାତକ । (2) ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି K ବିକିରଣ  $K_{\alpha}$  ଏବଂ  $K_{\beta}$  ନାମକ ଦୁଇଟି ବିକିରଣକୁ ନେଇ ଗଠିତ ।



ପରମାଣୁସଂଖ୍ୟା ବିଷୟରେ

ଚିତ୍ର (4.8)

$K_\alpha$  ବିକିରଣ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖା ଓ  $K_\beta$  ବିକିରଣ ପାଇଁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖା ପାଇଲେ । (ଗ୍ରହ (4.8) ଦେଖ) ଏବଂ ସୁଗୁରୁଲେ ଯେ:

$$v = K (z - a)^2 \quad (13)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $v$  = ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଆବୃତ୍ତ

$a$  ଏବଂ  $k$  = ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ  $z$  = ପରମାଣୁସଂଖ୍ୟା

ଏଥି ପୂର୍ବରୁ ପିରିୟଡିକ୍ (Periodic Table) ରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁସଂଖ୍ୟା ବସ୍ତୁତ୍ୱ କ୍ରମରେ ସଜ୍ଜିତ ହୋଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ମୋସ୍ଲି ଏହାକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ପିରିୟଡିକ୍ ତାଲିକାକୁ ପରମାଣୁସଂଖ୍ୟା କ୍ରମରେ ସଜାଇଲେ । ମୋସ୍ଲିଙ୍କ ନିୟମରୁ ଓ ବୋରଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନିୟମାରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ଓ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପରମାଣୁସଂଖ୍ୟା କ୍ରମରେ ନିର୍ଭର କରେ ।

ସମୀକରଣ (13) କୁ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରେ ଲେଖିଲେ ଜଣାଯିବ ଯେ ବୋରଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ମୋସ୍ଲିଙ୍କ ନିୟମ ମଧ୍ୟରେ ବିଶେଷ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅଛି । ସମୀକରଣ (13) କୁ ଆମେ ଲେଖି ପାରୁବା

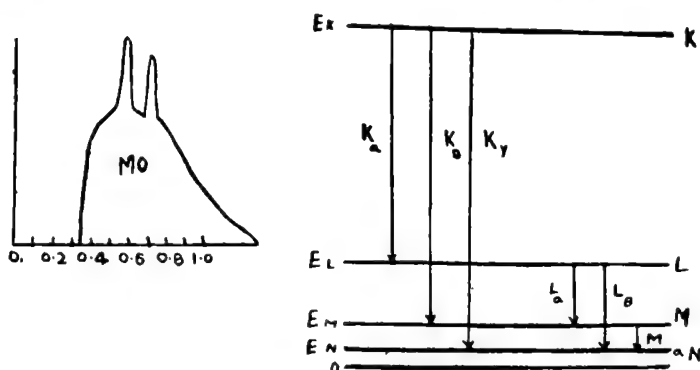
$$vK_\alpha = CR(Z-1)\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) \quad (14)$$

$$\text{ଯେଉଁଠାରେ } CR = \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = k \text{ ଏବଂ } a=1$$

ସମୀକରଣ (14) ସମୀକରଣ (10) ସହଜତା ଭୁଲନା କଲେ ଜଣାଯିବ ଯେ ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍  $n=2$  କକ୍ଷରୁ  $n=1$  କକ୍ଷକୁ ଆସେ, ସେତେବେଳେ  $K_\alpha$  ରେଖାର ବିକିରଣ ହୁଏ ଓ  $n=3$  ରୁ  $n=1$  କୁ ଆସିଲେ  $K_\beta$  ରେଖାର ବିକିରଣ ହୁଏ ।  $Z$  ସ୍ଥାନରେ  $(z-1)$  ରହୁବାର ଅର୍ଥ ହେଉଛି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍  $n=2$  କକ୍ଷରୁ  $n=1$  କକ୍ଷକୁ ଯିବା ସମୟରେ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ଥିବା ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ରାମାନ୍‌କ ଯୋଗୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗୁର୍ଜ କମିଯାଏ ।

ପରେ  $K$  ବିକିରଣ ବ୍ୟତୀତ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ ଥିବାର ଜଣାଗଲା । ସେଗୁଡ଼ିକ  $L, M, N$  ବିକିରଣ ନାମରେ ପରିଚିତ । ସେହିପରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଯେ କୌଣସି କକ୍ଷରୁ  $n=2$

କକ୍ଷକୁ ଅସିଲେ L ବିକିରଣ ମିଳେ ଓ  $n=3$  କୁ ଅସିଲେ M ବିକିରଣ ମିଳେ ।



ହୃଦୟର ଅଭିବ୍ୟକ୍ତି ବିକିରଣ

ଚିତ୍ର 4.9

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ନାମକରଣ ଅନୁସାରେ  $n=1$  କୁ K କକ୍ଷ,  $n=2$  କୁ L କକ୍ଷ,  $n=3$  କୁ M କକ୍ଷ କୁହାଯାଏ । K କକ୍ଷରେ 2 ଟି L କକ୍ଷରେ 8 ଟି ଓ N କକ୍ଷରେ 18 ଟି କବି ଉଲ୍ଲେଖ କରାଯାଏ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂଖ୍ୟାରୁ ବେଶୀ ଉଲ୍ଲେଖ କରାଯିବା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ରହୁଥିବା ନାହିଁ । କାରଣ ତାହା ପାଉଲି ଏକଲୁସନ୍ ପ୍ରମାଣ (Pauli's Exclusion Principle) କୁ ବିରୋଧ କରେ ।

ଉଦାହରଣ—

କେତେ ବିକିରଣର ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ପ୍ଲାଟିନମ୍ ଟାର୍ଜେଟ୍‌ରୁ  $K_{\alpha}$  ବିକିରଣ ହୋଇ ପାରିବ ଓ  $K_{\alpha}$  ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

K କକ୍ଷରୁ ଏକ ଉଲ୍ଲେଖ କରାଯାଏ ବାହାର କଲେ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରମାଣୁ

$$\begin{aligned}
 E &= hCR (Z-1)^2 \\
 &= 6.6 \times 10^{-34} \text{ ଯୁଲ୍} \times 3 \times 10^{18} \text{ ମିଟର}^{-1} \times 1.097 \times 10^{-3} \text{ Å}^{-1} (Z-1)^2 \\
 &= 19.8 \times 1.097 \times 10^{-19} \text{ ଯୁଲ୍} (Z-1)^2 \\
 &= 13.6 \text{ ଇ. ଏ. (Z-1)^2}
 \end{aligned}$$

ପ୍ଲାଟିନମ୍‌ର  $Z=78$

$E = 13.6 \times (77)^2$  ଇ: ଭୋ: = 80634 ଇ: ଭୋ: ତେଣୁ 80634 ବିରବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କଲେ  $K_{\alpha}$  ରଞ୍ଜିତ ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହେବ ।

$$\text{ଅମେ ଜାଣୁ } \nu_h = CR(Z-1)^2 \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R (77)^2 \cdot \frac{3}{4}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{K_{\alpha}} &= \frac{40000 \times 10^{-4} \text{ ମିଟର}}{3 \times 1.097 \times 10^7 (77)^2} \\ &= 0.205 \times 10^{-10} \text{ ମିଟର} = 0.205 \text{ \AA} \end{aligned}$$

### ୮ । ସାଦୃଶ୍ୟବୋଧକ ପଦ୍ଧତି ( Correspondence Principle )

ବୋର୍ ପ୍ରକାଶ କଲେ ସେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା (Quantum Number) ଅସ୍ତକ ହେଲେ ତାଙ୍କର ନୂତନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ତତ୍ତ୍ୱ ସମ୍ପ୍ରାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହେବ । ସମ୍ପ୍ରାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ନିଉକ୍ଲିୟସ ଶ୍ରେଣୀରେ ପରିକ୍ରମଣ ଯୋଗୁ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗର ବିକିରଣ ହୁଏ । ଏହି ତରଙ୍ଗର ଆବୃତ୍ତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତି ବିନ୍ଦୁ ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତିର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣିତକ (Complete multiples) ସହତ ସମାନ । ଯଦି  $\nu_0$  ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତି ହୁଏ, ତେବେ

$$\begin{aligned} \nu_0 &= \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{v}{r} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{e^2}{(4\pi\epsilon_0)mr^3} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{me^4}{4\epsilon_0^2 n^3 h^3} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{ବିନ୍ଦୁ } \nu_B = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \times \frac{(n_f + n_i)(n_f - n_i)}{n_f^2 n_i^2}$$

$$n_i \gg 1, n_f \gg 1 \quad \text{ଏବଂ } n \approx n_f \approx n_i$$

ତେବେ

$$\nu_B = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \frac{2n \Delta n}{n^4} = \frac{me^4}{4\epsilon_0^2 h^3 n^3 \Delta n} \quad (16)$$

$\Delta n = 1$  ହେଲେ, ସର୍ମାକରଣ (16) ସର୍ମାକରଣ (15) ସମାନ ହୋଇ ଯାଉଛି ।

## ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିପରି ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏ, ତାହା ବୁଝାଇ ଦିଅ ।
2. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିପରି ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଗ୍ୟାସଗୁଡ଼ିକର ଅୟନୀକରଣ (Ionisation) କରିପାରେ ?
3. ଯଦି ଆଲୋକ ରଶ୍ମି କ୍ୱାଣ୍ଟା ଆକାରରେ ପ୍ରବାହିତ ହୁଏ, ତେବେ ତାହା ଆଖିକୁ କାହିଁକି ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଦେଖାଯାଏ ?
4. ପ୍ରମାଣ କର ଯେ କ୍ୟାଥୋଡ୍ ଓ ଆନୋଡ୍ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରୟୋଗ କରା ଯାଇଥିବା ବିଭବାନ୍ତର ଉପରେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ନିର୍ଭର କରେ ।
5. କ୍ୟାଥୋଡ୍ ଓ ଆନୋଡ୍ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବାନ୍ତର 300 ଭୋଲ୍ଟ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ତୃତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରେ, ତେବେ ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? ( $\lambda = 41.3\text{\AA}$ )
6. କ୍ୟାଥୋଡ୍ ଓ ଆନୋଡ୍ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବାନ୍ତର କେତେ ହେଲେ, ତୃତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା 10 Å ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହୋଇ ପାରିବ ? (1240 Volt)
7. ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଫୋଟନରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୁଏ, ତେବେ ସେହି ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

$$\left( \frac{hc}{\lambda} = m_e c^2 \right)$$

8. ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ କାହିଁକି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ଅନୁପଯୁକ୍ତ ?
9. ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତି ଘନ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି କୋଣରେ ରହୁଥିଲେ ସେହି କ୍ରିଷ୍ଟାଲର କେତୋଟି ସମତଳ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ ଓ କିପରି ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନୁସ୍ଥାନ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସମତଳ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ?

10. କପଡ଼ି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଫିଷ୍କାଲ ଭିତରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥିତି ସୂଚାଇ ଦିଏ ?
11. ଗୋଟିଏ ଫିଷ୍କାଲର ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ  $3 \text{ \AA}$  ହେଲେ,  $2 \text{ \AA}$  ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପ୍ରଥମ କ୍ରମ (First Order) ପାଇଁ କେତେ ଉଚ୍ଚତା କୋଣ କରି ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବ ? ( $19^\circ 28'$ )
12. ଗୋଟିଏ ଫିଷ୍କାଲର ପ୍ରଥମ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ କ୍ରମର ବିବର୍ତ୍ତନ କୋଣମାନ ଯଥାକ୍ରମେ  $7^\circ-21'$  ଏବଂ  $14^\circ-50'$  ହେଲେ, ଫିଷ୍କାଲର ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ ଓ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିବା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
13. କେଉଁ କେଉଁ ପଦାର୍ଥରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ (characteristic) ଅଟେ ?
14. ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଘଣ୍ଟି ହୋଇଥିବାରୁ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଚାର୍ଜ ସମାନ ।
15. ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁର ଦ୍ୱିତୀୟ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
16. ଅୟନିତ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁର ପ୍ରଥମ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
17. ଅୟନିତ ହିଲିୟମର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ ଚତୁର୍ଥ କକ୍ଷରୁ ଦ୍ୱିତୀୟ କକ୍ଷକୁ ଅସିଲେ ଯେଉଁ ଅଲେକର ବିକିରଣ ହୁଏ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହଜ ଉଦ୍‌ଜାନର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ ଦ୍ୱିତୀୟ କକ୍ଷରୁ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷକୁ ଅସିବା ସମୟରେ ବିକିରଣ ହେଉଥିବା ଅଲେକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହଜ ଭୁଲନା କର ।
18. ଉଦ୍‌ଯାନ ପରମାଣୁର ଫୋଟନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ (gravitational force) ସହଜ ଭୁଲନା ବଳର ଭୁଲନା କର । ( $4.4 \times 10^{-40}$ )
12. ଉଦ୍‌ଜାନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ ଦ୍ୱିତୀୟ କକ୍ଷରେ ପରିକ୍ରମଣ କରୁଥିବା ସମୟରେ ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ( $2.4 \times 10^{14}$ )
20. ବାମାର ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ  $6563 \text{ \AA}$  ହେଲେ, ଲଭମାନ ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? ( $\lambda = 1215 \text{ \AA}$ )



21. ହାଇଡ୍ରମର ଏକ ଆଲୋକ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ  $5876 \text{ \AA}$  ହେଲେ, ଦୁଇ ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ଶକ୍ତିର ତପାତ୍ କେତେ ? ( $3.38 \times 10^{-13}$  ଅର୍ଗ)
22. ମନେକର  $2.42 \times 10^{-13}$  ଅର୍ଗ ଶକ୍ତି ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତାନ ଆୟନର ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ବୁଲିବାକୁ ଲାଗିଲା ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଅବଶିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ଫୋଟନ ଆକାରରେ ବିକିରଣ ହେଲା, ତେବେ ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତ କେତେ ? ( $3.65 \times 10^{15}$ /ସେକଣ୍ଡ)
23. ନିମ୍ନଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଥିବା ଏକ ଉତ୍ତାନ ପରମାଣୁ 12.2 ଇଃ ଶ୍ରେ: ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କଲେ ତାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ କେଉଁ କକ୍ଷକୁ ଯିବ ? ( $n=3$ )
24. ଉତ୍ତାନର ଆୟନୀକୃତ ବିଭବ (Ionisation Potentic) ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
25. ହାଇଡ୍ରମର ଆୟନୀକୃତ ବିଭବ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । (54.1 ଇଃ ଶ୍ରେ:)
26. ପ୍ରମାଣ କର ବାମାର ଶ୍ରେଣୀର ସବୁଠାରୁ ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତ ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ  $3647 \text{ \AA}$  ଅଟେ ।
27. ଯଦି ଲୁଇମାନ ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ  $1215 \text{ \AA}$  ହୁଏ, ତେବେ ସେହିଥିରୁ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଉତ୍ତାନର ଆୟନୀକୃତ ଶକ୍ତିର ପରମାଣ 13.6 ଇଃ ଶ୍ରେ: ହେବ ।

---

# ପଞ୍ଚମ ଅଧ୍ୟାୟ

## ତରଙ୍ଗ ଓ ପଦାର୍ଥର ଦ୍ୱି-ପ୍ରକୃତି

(Dual nature of Matter and Waves)

ପୂର୍ବ ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରୁ ଆମେ ଜାଣିଛୁ ଯେ ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ସାଦୃଶ୍ୟରେ ବ୍ୟତିକରଣ (Interference), ବିବର୍ତ୍ତନ (diffraction) ଓ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ (Polarisation) ପ୍ରଭୃତି କେତେକ ଭୌତିକ ଘଟଣା ବୁଝା ଯାଇପାରେ ଏବଂ ବୃଷ୍ଟବସ୍ତୁ ବିକିରଣ, ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରଭାବ ଓ କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ ପ୍ରଭୃତି ଅନ୍ୟ କେତେକ ଭୌତିକ ଘଟଣା ପଦାର୍ଥ ତତ୍ତ୍ୱ ସାଦୃଶ୍ୟରେ ବୁଝି ହୁଏ । ଏହିଥିରୁ ଆଲୋକର ଦ୍ୱି-ପ୍ରକୃତିର ସୂଚନା ମିଳେ । ଏହିପରି ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟ ସ୍ଥୁଳ ବିଶେଷରେ ତରଙ୍ଗ ପରି କାମ କରେ ।

### ୧ । ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ (Matter Waves)

1925 ରେ ଡି ବ୍ରୋଲି (De Broglie) ସବୁ ପ୍ରଥମେ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ (Matter Waves) ବିଷୟରେ ଚିନ୍ତା କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ଅନୁସାରେ ଯଦି ଫୋଟନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଥାଏ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ

$$E = mc^2 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (5.1)$$

କିମ୍ବା  $\lambda = \frac{h}{mc}$  ଫୋଟନ୍‌ର ସ୍ୱବେଗ

ଗୋଟିଏ କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ  $\lambda$  ଧରିନେଲେ ଆମେ ପାଇବୁ

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} \quad (5.2)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $P =$  କଣିକାର ସ୍ୱବେଗ

ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌କୁ ଏକ ତରଙ୍ଗ ପ୍ୟାକେଟ (Packet) ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ ଗୁଡ଼ିକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ବୋଲି ଧରି ନିଆ ଯାଇପାରେ ।

ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ 100 ଭୋଲ୍ଟ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ ହୁଏ ଓ ତାର ବେଗ  $u$  ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{eV}{300}$$

$$\text{କିମ୍ବା } m^2v^2 = \frac{2meV}{300}$$

$$\text{କିମ୍ବା } \lambda = \frac{h}{mv} = h \sqrt{\frac{150}{meV}}$$

$$= \sqrt{\frac{105}{V}} 10^{-8} \text{ ସେ: ମି:} \quad (5.3)$$

ତେଣୁ ଯେତେବେଳେ  $V=150$  ଭୋଲ୍ଟ  $\lambda = 1 \text{ \AA}$

ଏବଂ ଯେତେବେଳେ  $V=15,000$  ଭୋଲ୍ଟ  $\lambda = 0.1 \text{ \AA}$

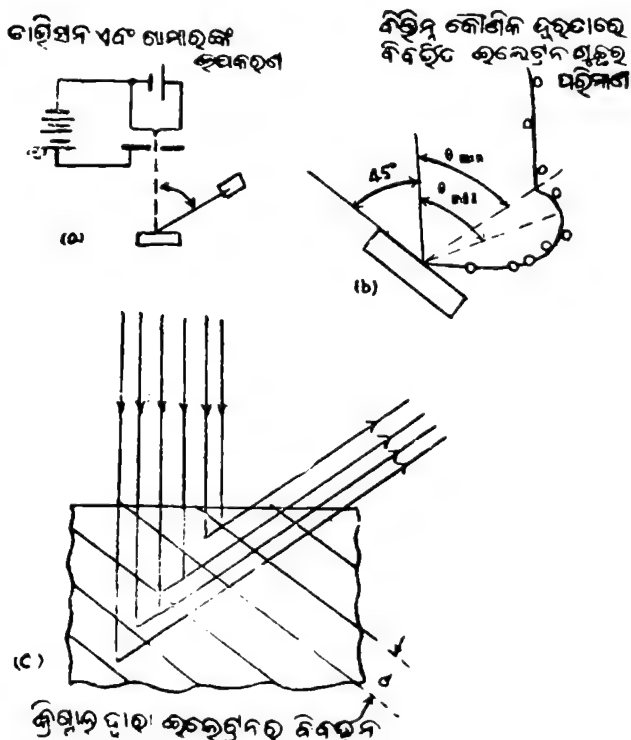
ଏହାଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହଜ ପ୍ରାୟ ସମାନ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ବିବର୍ତ୍ତନ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ବିଭିନ୍ନ ବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମପା ଯାଇ ପାରିବ । ସେହିପରି ବିଭିନ୍ନ ବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ରେ ଇ ବ୍ରଲ୍ ତରଙ୍ଗ ଥାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ନୁହେଁ; କିନ୍ତୁ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ !

## ୨ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବିବର୍ତ୍ତନ (Electron diffraction)

ଇ ବ୍ରଗ୍ଲଙ୍କ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପ୍ରଥମେ ଡାଭିସନ (Davisson) ଏବଂ ଗାରମର୍ (Germer) କ ଦ୍ୱାରା ପରୀକ୍ଷିତ ହୋଇଥିଲା । ସେମାନେ ଏକ ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନ୍ ତନ୍ତ୍ର (Filament) ରୁ ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ଗୁଡ଼ିକୁ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଗୁଡ଼ି ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିଲେ । ଏହି ଗୁଡ଼ି ଏକ ନିକେଲ ଟାର୍ଗେଟ୍ (Target) ଦ୍ୱାରା ବିଭିନ୍ନ ଦିଗରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିଲା । ସେମାନେ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସୂଚକ (detector) ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରୁଥିଲେ ।

ସେମାନେ 54 ଇ: ଭୋ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଗୁଡ଼ିକୁ ନିକେଲ ଟାର୍ଗେଟ୍ ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ କରାଇ ନିର୍ଗତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଗୁଡ଼ିର

ପରିମାଣ ଦିଆନ୍ତୁ ଏବଂ କିପରି କଲେ ସେମାନେ ପରସ୍ପର ପାଇଲେ



ଚିତ୍ର (5.1)

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛର ପରିମାଣ  $\theta = 50^\circ$ ରେ ସବୁଠାରୁ ବେଶୀ ହେଉଛି ।

ତେଣୁ ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିବର୍ତ୍ତନ ନିୟମାନୁସାରେ

$$n\lambda = 2d \sin 50 \quad (5.4)$$

ନିକେଲ ପାଇଁ  $2d = 2.15 \text{ \AA}$ ,  $n = 1$

ତେଣୁ  $\lambda = 2.15 \text{ \AA} \sin 50^\circ = 1.65 \text{ \AA}$

ତେ ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମାନୁସାରେ

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{54}} \text{ \AA} = 1.66 \text{ \AA}$$

ଏଥିରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ସ୍ଥଳ ବିଶେଷରେ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗର ଧର୍ମ ପ୍ରକାଶ କରୁଥାଏ ।

ଉ ବ୍ରହ୍ମାଙ୍କ ପ୍ରକଳ୍ପ (Hypothesis) ଅନୁସାରେ ଯେ କୌଣସି କଣିକାକୁ ମଧ୍ୟ ତରଙ୍ଗ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରେ । ନିଉଟନ୍‌ର ଚରଣିତ ସାହାଯ୍ୟରେ କୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଉପରେ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅବସ୍ଥିତି ଜାଣି ହୁଏ । କାରଣ ନିଉଟନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଗୁରୁତ୍ୱ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ଚରଣିତ ନ ହୋଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ଚରଣିତ ହୁଏ । ଅମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଥିବା ଋଜୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ଚରଣିତ ହୁଏ । ତେଣୁ ଏହି ଦୁଇ ପଦ୍ଧତିରୁ ପଦାର୍ଥର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରି ହୁଏ ।

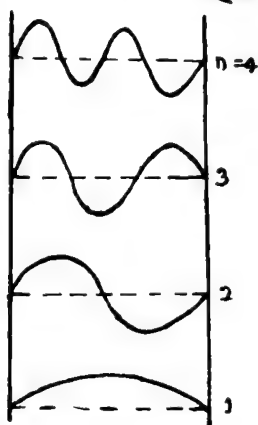
### ୩ । ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱିସ୍ଥାପିତ (Wave mechanics)

ପୂର୍ବବର୍ତ୍ତୀ ଅଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗଣିତାତ୍ମକ କଣିକାର (Particle) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଥାଏ । କଣିକାର ବେଗ ବା ଶକ୍ତି ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ହ୍ରାସ ହୁଏ । ଏହି ସତ୍ୟରୁ ଏକ ନୂତନ ଦ୍ୱିସ୍ଥାପିତ ସୂଚନା ମିଳିଲା । ଏହି ନୂତନ ଦ୍ୱିସ୍ଥାପିତ (Mechanics) ଦ୍ୱାରା ଅଲୋକର ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ (Electromagnetic Theory) ଓ କଣିକା ତତ୍ତ୍ୱ (Particle theory), କଣିକାର ଗତିତତ୍ତ୍ୱ (Dynamics of Particles) ପ୍ରଭୃତି ଭୌତିକ ଘଟଣା ବୁଝା ଯାଇପାରିଲା ।

ଏହି ନୂତନ ଦ୍ୱିସ୍ଥାପିତ ବିଷୟରେ ସମ୍ୟକ୍ ଧାରଣା କରିବା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଏକ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇଥିବାର କଳ୍ପନା କର । ବାକ୍ସରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌କୁ ଏକ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ନିରୂପଣ (Represent) କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗ ଶବ୍ଦ ତରଙ୍ଗ ପରି ବାକ୍ସର କାନ୍ଥ ଦ୍ୱାରା ଥରକୁ ଥର ପ୍ରତିଫଳିତ ହୁଏ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଇପାରେ । ଏହାକୁ ଏକ ପ୍ରକାର ଅପ୍ରଗମୀ ତରଙ୍ଗ (Standing Waves) ବୋଲି ମଧ୍ୟ କୁହା ଯାଇପାରେ । ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଟିକୁ ବାକ୍ସ ବାହାରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) ଶୂନ୍ୟ ତେଣୁ ବାକ୍ସ ବାହାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ଆୟାମ (amplitude) ଶୂନ୍ୟ ଅଟେ ଏବଂ ବାକ୍ସ ଉପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ଆୟାମ  $\psi$  ଏପରି ହେବା ଦରକାର ଯଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଟିକୁ ବାକ୍ସ ଉପରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) 1 ହେବ ।

ଚିତ୍ର (5.2) ରେ  $x$  ଦିଗରେ ଶକ୍ତିଶୀଳ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗ ଚିତ୍ର ଦିଆଯାଇଅଛି । ସେ ହେତୁ ବାକ୍ସର ଦୁଇ କାନ୍ଥରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ଆୟାମର (Amplitude) ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ଅଟେ, ସେହେତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହୋଇଥାଏ । ଯଥା :—

ପାରଦର୍ଶକ ଉତ୍ତେଜନର  
ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ପ୍ରସାରଣ  
ତରଙ୍ଗ ସମୂହ



ଚିତ୍ର (5.2)

$$\lambda_1 = 2L,$$

$$\lambda_2 = \frac{2L}{2}$$

$$\lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

$$\text{କିମ୍ବା } \lambda_m = \frac{2L}{m}$$

ଯେଉଁଠାରେ  $L$  = ବାକ୍ସର ଲମ୍ବା

ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ସବେଗ ଓ ଶକ୍ତି କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହୋଇଥାଏ, ଯଥା :—

$$P_n = \frac{h}{\lambda_m} \quad (5.6)$$

$$\text{ଏବଂ } E_n = \frac{1}{2}mv_n^2$$

$$= \frac{1}{2} \frac{P_n^2}{m} = \frac{h^2}{2\lambda_n^2 m} = \frac{h^2}{8mL^2} n^2 \quad (5.7)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $n$  କୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା କୁହାଯାଏ ଓ

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପ୍ରତିଥର ବାକ୍ସର କାନ୍ଥ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବା ସମୟରେ ବହୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରୁଥାଏ । ଏହି ପ୍ରକାର ବିକିରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଚାଲୁଥାଏ କିନ୍ତୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ମିକ୍ୟାନିକ୍ସ (Quantum Mechanics) ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ

$$E_1 = \frac{h^2}{8mL^2}$$

ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁ ସ୍ଥାୟୀ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହାର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ନୁହେଁ । ଏହଥିରୁ ଜଣାଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ନିୟମାବଳୀ ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟ ସହଜ ଭୌତିକ ଘଟଣାର ବିଶେଷ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅଛି ।

ତରଙ୍ଗ ନିୟମାବଳୀ ସାହାଯ୍ୟରେ ପରମାଣୁ ବିପରୀତ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥା ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରେ, ଅତି ସହଜରେ ବୁଝି ହୁଏ । ଆମେ ଆଗରୁ ଅଲୋଚନା କରିଛୁ ଯେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଏକ ବାକ୍ସ ଭିତରେ ହେଉ କିମ୍ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ ଥିବା ସମୟରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଶକ୍ତି କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଥରକେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରେ ଓ ବିକିରଣ ତରଙ୍ଗର ଆବୃତ୍ତି  $\nu$  ହୁଏ, ତେବେ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା

$$h\nu = E_{n^1} - E_n$$

ଯେଉଁଠାରେ  $E_{n^1}$  ଏବଂ  $E_n$  ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ।

ଉଦାହରଣ—

ମନେକର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସ ଭିତରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇଅଛି ଏବଂ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର ବାକ୍ସର ବିପକ୍ଷ ଦିଗରେ ଥିବା ଦୁଇ କାନ୍ଥ ଦ୍ୱାରା ଥରକୁ ଥର ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଉଛି । ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ 0.375 ଇ. ଇ. ହୁଏ, ତେବେ (a) ବିପକ୍ଷ ଦିଗରେ ଥିବା ଦୁଇ କାନ୍ଥର ଦୂରତା କେତେ ? (b) ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର  $n^1=2$  ରୁ  $n=1$  ଅବସ୍ଥାକୁ ଗଲୁଅସେ, ତେବେ ବିକିରଣ ହେଉଥିବା ତରଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

(a) ସମୀକରଣ (5.7) ରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$E_1 = \frac{h^2}{8mL^2}$$

$$\text{କିମ୍ବା } L^2 = \frac{(6.625 \times 10^{-34})^2 (\text{ୟୁଲୁ ସେକେଣ୍ଡ})^2}{8(9.1 \times 10^{-31}) \times 0.375 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

(ବି.ଗ୍ରା.  $\times$  ଯୁଲୁ)

$$L = 10^{-9} \text{ ମିଟର}$$

(b) ଯଦି ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତ  $\nu$  ହୁଏ, ତେବେ

$$h\nu = E_2 - E_1 = .375 (2^2 - 1^2) \text{ ଇ: ଇଂ:}$$

$$= 1.125 \text{ ଇ: ଇଂ:}$$

$$\text{ତେଣୁ } \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3. \times 10^8 \times 6.6 \times 10^{-34} (\text{ମିଟର}) (\text{ଯୁଲ୍ ସେକେଣ୍ଡ})}{1.125 \times 1.6 \times 10^{-19} (\text{ଯୁଲ୍}) (\text{ସେକେଣ୍ଡ})}$$

$$= 11000 \text{ \AA}$$

ପୂର୍ବ ଅଲୋଚନାରୁ ମିଳେ କୌଣସି ପଦ୍ଧତି (System) ର ଶକ୍ତି କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣ ହୁଏ ଏବଂ ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ନୁହେଁ । ଏହା ବ୍ୟତୀତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ମିଥାନ୍ତିରୁ ଅନ୍ୟ ଏକ ସତ୍ୟର ସୂଚନା ମିଳେ । ମନେକର ଏକ କଣିକା ଚରବ ପ୍ରାଚୀର (Potential Barrier) ଦ୍ୱାରା ଅବରୋଧିତ ହୋଇଛି । ଯଦି କଣିକାର ଚରବାନ୍ତର ଶକ୍ତି ଚରବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ କଣିକାଟି ଅତି ସହଜରେ ଚରବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିପାରେ । ଯଦି କଣିକାର ଚରବାନ୍ତର ଶକ୍ତି ଚରବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ କମ୍ ହୋଇଥାଏ, ସମ୍ଭାବିତ ମିଥାନ୍ତିରୁ (classical mechanics) ଅନୁସାରେ କଣିକାଟି କୌଣସି ପ୍ରକାରେ ଚରବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ମିଥାନ୍ତିରୁ ଅନୁସାରେ କଣିକାର ଚରବାନ୍ତର ଶକ୍ତି ଚରବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ କମ୍ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ କଣିକାଟି ଚରବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବାର ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ । କଣିକା ତରଙ୍ଗର ଆକୃତି ବାକ୍ସ ଉପରେ ସାଇନ (Sinusoidal) ସହୁଣ । ବାକ୍ସ ବାହାରେ ତରଙ୍ଗାଘାତୀ (Exponential) । ଏଣୁ ଚରବ ପ୍ରାଚୀର (Potential barrier) କୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଥାଏ । ତେଣୁ ଚରବ ପ୍ରାଚୀର ବାହାରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ ନାହିଁ । ଏଠାରେ ମନେ ରଖିବାକୁ ହେବ ଯେ ଯଦି କଣିକାର ଶକ୍ତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କମିଯାଏ ଓ ଚରବ ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟରେ ନିଷ୍ପନ୍ନ (Node) ସଂଖ୍ୟାର ପରିମାଣ ବେଶୀ ହୁଏ (ତାହା (5.2) ଦେଖ) ।

ମୋଟାମୋଟ ଭାବରେ କହିବାକୁ ଗଲେ କଣିକାର ଚରବ ଶକ୍ତି ଚରବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ କମ୍ ହେଲେ ମଧ୍ୟ କଣିକାଟି ଚରବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି



ଯିବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଶୂନ୍ୟ ନୁହେଁ । ଏହି ତରଙ୍ଗ ଫିସ୍ତାବସ୍ତୁ ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟସର  $\alpha$  ବିଘଟନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସହଜରେ ବୁଝି ହୁଏ ।

## ୪ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା

ତରଙ୍ଗ ଫିସ୍ତାବସ୍ତୁ ସାହାଯ୍ୟରେ ଉତ୍କଳାନର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଗଲେ ଆମେ ପାଇଁ

$$E_n = \frac{-me^4}{8E_0^2 h^2 n^2} \quad (5.8)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $n=1, 2, 3, \dots$

ଏହା ବୋରଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ମିଳିଥିବା ଉତ୍କଳର ସହଜ ସମାନ । ଏଠାରେ ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା  $n$  ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ବିଭିନ୍ନ ଦୂରରେ ଥିବା ଏକକ ଆୟତନ (Unit Volume) ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇବାର ସାମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) ସହଜ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା ବଣ୍ଟନ (Probability distribution) ରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ହାରାହାରି (Average) ଦୂରତା ହସାବ କଲେ ତାହା ବୋରଙ୍କ ସହଜ ସମାନ ହୁଏ ।

ତରଙ୍ଗ ଫିସ୍ତାବସ୍ତୁର ସୂଚନା ମିଳେ ଯେ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ପାଇଁ ଉତ୍କଳାନ ପରମାଣୁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ (State) ରହିପାରେ । ସେହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ସବେଗ (Angular momentum) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଓ ଅନ୍ୟ ଏକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ସହଜ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ । ଏହି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାକୁ କକ୍ଷୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା (orbital quantum number) କୁହାଯାଏ ଓ ଏହାର ବିଭିନ୍ନ ପରିମାଣ ହେଲା

$$l=0, 1, 2, \dots, (n-1) \quad (5.9)$$

ତରଙ୍ଗ ଫିସ୍ତାବସ୍ତୁ ଆଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କୌଣସି ସବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର (Magnetic Field) ମଧ୍ୟରେ ରହିଲେ ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିପାରେ । ସେହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ରୁମ୍ବକାୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା (Magnetic quantum number) ସହଜ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ । ରୁମ୍ବକାୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା  $ml$  ର ପରିମାଣ ହେଲା

$$ml = -l, (l-1), (l-2), \dots, -1, 0, +1, (l-1)$$

ତେଣୁ ପରମାଣୁର ଅବସ୍ଥା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା  $n, l, ml$  ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ।

ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରୁ ଜଣାଗଲା ଅଧିକାଂଶ ରେଖା ପାଖାପାଖି ଥିବା ଦୁଇ ଜୁମ୍ପା ଅଧିକ ରେଖାକୁ ନେଇ ଗଠିତ । ଏହାର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବା ପାଇଁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନିଜ ମେରୁଦଣ୍ଡର ଗୁରୁପାଖେ ଗୁଲୁଥିବାର କଳ୍ପନା କରାଗଲା ଓ ଏହି ଦୂର୍ବ୍ବଳର କୌଣିକ ସଂବେଗ (Angular momentum) ର ପରିମାଣ  $\frac{1}{2} \frac{sh}{2\pi}$  ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପିନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା (Magnetic spin quantum number) ର ପରିମାଣ  $m_s = +\frac{1}{2}$  ଓ  $m_s = -\frac{1}{2}$  ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା । ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଗୁରୁତ୍ୱର ଦୂର୍ବ୍ବଳ ଯୋଗୁ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଦୂର୍ବ୍ବଳ (magnetic moment) ଯୋଗୁ ପରମାଣୁଟି ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହୁଥିବାର । ଏହି କଳ୍ପନା ଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ପ୍ରକୃତ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରାଯାଇ ପାରିଲା ।

### ୪ । ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ (Pauli exclusion Principle )

1925 ମସିହାରେ ପାଉଲି (Pauli) ସୂଚାଇଲେ ଯେ ଏକ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଯେ କୌଣସି ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସମୁଦାୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା ପରସ୍ପର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ସମାନ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଯେତେବେଳେ ପ୍ରଥମ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା  $n=1, l=0, ml=0$  କିନ୍ତୁ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପିନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା  $m_s = \frac{1}{2}$  କିମ୍ବା  $-\frac{1}{2}$  ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ରହୁଥିବାର ।  $n=2$  ହେଲେ,  $L=0$  କିମ୍ବା  $l=1$  ହେବ । ତେଣୁ ୨ୟ କକ୍ଷ ଦୁଇଟି ଉପକକ୍ଷ (Sub shell) କୁ ନେଇ ଗଠିତ । ଗୋଟିଏ କକ୍ଷର କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ଉପକକ୍ଷ ରହୁଥିବାର, ତାହା ସେହି କକ୍ଷର ପ୍ରଥମ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । କୌଣସି କକ୍ଷର ପ୍ରଥମ ( $l=0$ ), ଦ୍ୱିତୀୟ ( $l=1$ ) ଓ ତୃତୀୟ ( $l=2$ ) ପ୍ରଭୃତି ଉପକକ୍ଷକୁ  $s, p, d, f$  ଉପକକ୍ଷ କୁହାଯାଏ । ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମାନୁସାରେ କେଉଁ କକ୍ଷ ଓ ଉପକକ୍ଷରେ କେତେକଟି କିମ୍ବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ରହୁବାର ତାହା ତାଲିକା (5.1)ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ  $n$  କକ୍ଷର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା  $2n^2$  ।

ତାଲିକା—(5.1)

କକ୍ଷ	ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା				ବିଭିନ୍ନ ଉପକକ୍ଷର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ ସଂଖ୍ୟା					କକ୍ଷର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ ସଂଖ୍ୟା
	$n$	$l$	$m_l$	$m_s$	$s$	$p$	$d$	$f$		
1	1	0	0	$\frac{1}{2}$	2					2
	1	0	0	$-\frac{1}{2}$						
2	2	0	0	$\frac{1}{2}$	2					8
	2	0	0	$-\frac{1}{2}$						
	2	1	-1	$\frac{1}{2}$	6					
	2	1	-1	$-\frac{1}{2}$						
	2	1	0	$\frac{1}{2}$						
	2	1	0	$-\frac{1}{2}$						
	2	1	+1	$\frac{1}{2}$						
	2	1	+1	$-\frac{1}{2}$						
3					2	6	10			18
4					2	6	10	14		32

### ୭ । ଧାତୁରେ ପରିବହନ (Conduction in metals)

ଧାତୁଗୁଡ଼ିକର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ତାପୀୟ ଧର୍ମ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ଡ୍ରୁଡ୍ ଓ ଲରେଞ୍ଜି (Drude and Lorenz) ପ୍ରତ୍ୟେକ ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ (Free electron) ଉଦ୍‌ଗ୍ରସ୍ତ ଗ୍ରାହରେ ବୁଲୁଥିବାର କଳ୍ପନା କରୁଥିଲେ ।

ଧାତୁର ଦୁଇ ପାର୍ଶ୍ବରେ ବରବାନ୍ତର (Potential difference) ପ୍ରୟୋଗ କରାଗଲେ ଏହି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଏକ ପାର୍ଶ୍ବରୁ ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ବକୁ ଗତି କରନ୍ତି । ଫଳରେ ସୁପରିବାହୀ ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରବାହ ହୁଏ । କିନ୍ତୁ ସୁପରିବାହୀର ଏକ ପାର୍ଶ୍ବକୁ ଗରମ କରାଗଲେ ସେହି ପାର୍ଶ୍ବରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ (Random) ଗତି ବୃଦ୍ଧି ପାଏ ।

ଏହି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ବର୍ଦ୍ଧିତ ଇତସ୍ତତଃ ଗତି ଫସଟନ (Collision) ଦ୍ବାରା ତାର ପଡ଼ୋଶୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତିକୁ ବଦାଇ ଥାଏ । ମାତ୍ର ପଡ଼ୋଶୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତି ପ୍ରଥମ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତିଠାରୁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ଏହିପରିଭାବେ ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ବରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତି କ୍ରମେ ବୃଦ୍ଧିପାଏ ଓ ସେହି ପାର୍ଶ୍ବଟି ଗରମ ହୋଇଯାଏ । ଏହି ବର୍ଦ୍ଧିତ ଇତସ୍ତତଃ ଗତିର ସ୍ଥାନାନ୍ତର ଯୋଗୁ ତାପ ପରିବହନ ହୁଏ ।

ଅସ୍ଥାୟିତ ତତ୍ତ୍ବାନୁସାରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ମାକ୍ସୱେଲ ବୋଲ୍‌ଜମାନ ପରିବେଗ ବିତରଣ (Maxwell Boltzman Velocity distribution) ନିୟମାନୁସାରେ ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ହୋଇଥାଏ । ସେହି ନିୟମାନୁସାରେ  $N$  ଅଣ୍ୟକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ମଧ୍ୟରୁ ଯଦି  $N_v$  ଅଣ୍ୟକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ  $v$  ହୁଏ, ତେବେ

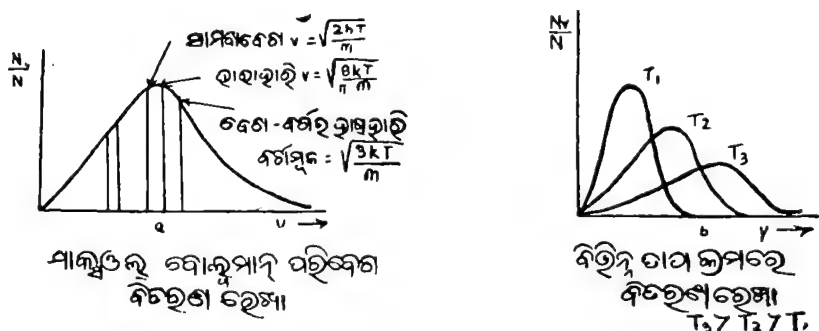
$$\frac{N_v}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2RT} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \quad (5.10)$$

ଅମେ ଯଦି  $\frac{N_v}{N}$  ଓ  $v$  ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରାଫ୍ କାଟି (ଚିତ୍ର 5.3), ତେବେ ABCD

କ୍ଷେତ୍ରର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ  $= \frac{N_v}{N} (v_2 - v_1)$  । ଯେଉଁଠାରେ  $N_v$  = ଯେଉଁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ବେଗ  $v_1$  ଓ  $v_2$  ମଧ୍ୟରେ ଥାଏ ।

ଗତି ଶକ୍ତି ବେଗର ବର୍ଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ, ତେଣୁ ହାରାହାରି ଗତି ଶକ୍ତି ବେଗର ବର୍ଗର ହାରାହାରି ପରିମାଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଏହାର ବର୍ଗମୂଳକୁ ବେଗ-ବର୍ଗ-ମାଧ୍ୟର ମୂଳ (root-mean square speed) କହନ୍ତି । ତେଣୁ ଏହାର ପରିମାଣ ତାପମାନ (Temperature) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ମାକ୍ସୱେଲ ବିତରଣ ରେଖାରୁ (Maxwell distribution Curve) ଜଣାଯାଏ

ତାପନମ୍ନ ବଢ଼ିଲେ ବିତରଣ ରେଖା ଚେପଟା ହୋଇଯାଏ ଓ ଶୀର୍ଷତମ ବିନ୍ଦୁ ଉଚ୍ଚତର ବେଗ ଆଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚିଯାଏ । ( ଛବି (5.3) )



ଛବି (5.3)

ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱାନୁସାରେ ଓଫ୍‌ଇଡମାନ ଏବଂ ଫ୍ରାଞ୍ଜ (Weidman and Franz) ସୂଚାଇଲେ ଯେ କୌଣସି ଧାତୁର ବୈଦ୍ୟୁତିକ (electrical) ଓ ତାପୀୟ (Thermal) ପରିବାହକତା (Conductivity) ର ଅନୁପାତ ଏକ ଧ୍ରୁବଙ୍କ ଅଟେ । ପ୍ଲାଟିନମ ପ୍ରଭୃତି କେତେକ ଧାତୁ ପାଇଁ ଏହି ଧ୍ରୁବଙ୍କର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ପରିମାଣ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ପରିମାଣ (experimental value) ସହଜ ସମାନ । କିନ୍ତୁ ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତୋଟି ଭୌତିକ ଘଟଣା ବୁଝି ଦେଲା ନାହିଁ ।

(1) ଏକ ଦିଶ୍ଟାଲର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ (Specific heat) ର ପରିମାଣ  $\frac{3}{2} R$  । କିନ୍ତୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ତାପନମ୍ନ କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ହ୍ରାସ କମିଯାଏ ।

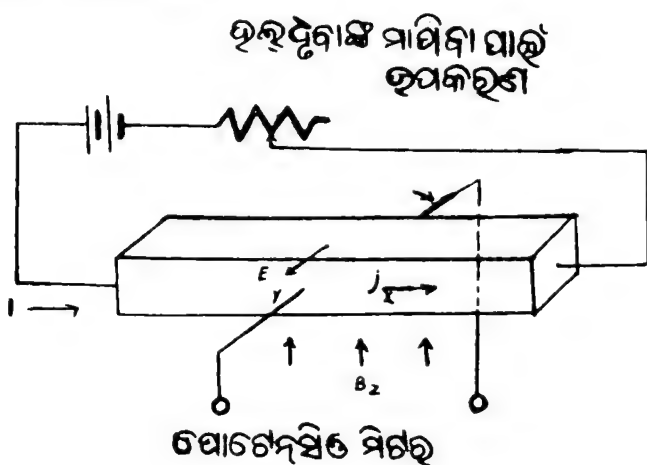
(2) ବିଭିନ୍ନ ଧାତୁର ବିଭିନ୍ନ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପରିବାହକତାର କାରଣ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ ।

(3) ହଲଙ୍କ ପ୍ରଭାବ (Hall effect) ରୁ ମିଳୁଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟକୁ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ ।

## ୭ । ହଲଙ୍କ ପ୍ରଭାବ ( Hall effect )

ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ଏକ ସୁପରିବାହୀକୁ ଯଦି ଏକ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରଖାଯାଏ, ତେବେ ସୁପରିବାହୀର ଦୁଇ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ବିଦ୍ୟୁତ

କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି ହେବ । ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର (Electric Field) ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି ଓ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରୋତ (electric current) ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ହେବ । ନିମ୍ନ ଚିତ୍ରରେ (ଚିତ୍ର (5.4)) ସୁପରିବାହୀ ମଧ୍ୟ ଦେଇ  $x$  ଦିଗରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହେଉଛି ।  $z$  ଦିଗରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରା ଯାଇଛି ଏବଂ  $y$  ଦିଗରେ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି ହେଉଅଛି । ଆମେ ଜାଣୁ ଗତିଶୀଳ ଚାର୍ଜ କଣିକା ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତିକଲେ ତାର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ । ଚାର୍ଜ କଣିକାଟି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ତାର ଗତି ପଥର ଦିଗପ୍ରତି ସମକୋଣ କରି ଗତି କରେ । ତେଣୁ ମୁକ୍ତି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ  $y$  ଦିଗକୁ ଗତି କରନ୍ତି ଯାହା ଫଳରେ ସୁପରିବାହୀର ଏକ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିଯାଏ । ତେଣୁ ଏକ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ ।



ଚିତ୍ର (5.4)

ଯଦି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ପରିବେଗ  $v$  ହୁଏ ଓ  $F_b$  ବଳ ଦ୍ୱାରା ଏହାର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ, ତେବେ

$$F_b = e(\vec{v} \times \vec{B}) = evB \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} E_H &= -\frac{F}{e} = -vB \\ &= -\frac{1}{ne} j B \end{aligned} \quad (5.12)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $E_H$  = ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ରର ପରିମାଣ ଓ  $j = nev$  ।

ଏହିଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରବାହ ପାଇଁ ହଲ ବିଦ୍ୟୁତ୍ କ୍ଷେତ୍ର ରୂମ୍ଭକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ଏବଂ  $R_H = \frac{1}{ne}$  କୁ ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ କହନ୍ତି । ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ମାପି ଧାତୁ ଭିତରେ ଥିବା ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ଜଣାଯାଏ ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ସବୁବେଳେ ସବୁ ଧାତୁ ପାଇଁ ଏକ ଧନାତ୍ମକ ରାଶି ହେବ । କିନ୍ତୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ଏହା ସବୁବେଳେ ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ତେଣୁ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦରକାର ।

ଉଦାହରଣ—

କପର ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷାଗାର ତାପମାନରେ ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ଓ ପ୍ରତିରୋଧର ପରିମାଣ ଯାଥାକ୍ରମେ  $-5.5 \times 10^{-11} (\text{ମି})^3/\text{କୁଲମ୍ବ}$  ଓ  $1.72 \times 10^{-8}$  ସେ:ମି: ହେଲେ, ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଓ ଦ୍ୱାରାଦ୍ୱାରା ସଂଘଟନ ସମୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ସମୀକରଣ (12) ରୁ ଆମେ ପାଇଁ

$$-5.5 \times 10^{-11} (\text{ମି})^3/\text{କୁଲମ୍ବ} \\ = \frac{1}{n(-1.6 \times 10^{-19} \text{କୁଲମ୍ବ})}$$

$$\text{କିମ୍ବା } n = 1.1 \times 10^{23} / (\text{ସେ:ମି:})^3$$

ଆମେ ଯଦି ଧରି ନେବା ଯେ ପ୍ରତି ସଂଘଟନ (Collision) ପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ, ପ୍ରତି ସଂଘଟନ ମଧ୍ୟରେ ସମୟର ବ୍ୟବଧାନ  $\tau$  ହୁଏ ଓ ସଂଘଟନ ପୂର୍ବେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ପରିବେଗ  $v$  ହୁଏ, ତେବେ

$$v = \frac{Ee}{m} \tau$$

$$j = \frac{ne^3 E}{m} \tau$$

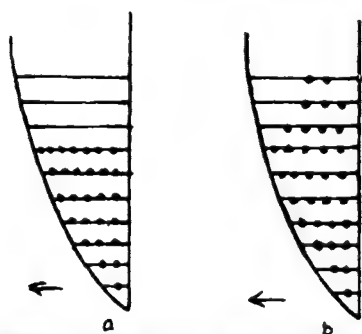
$$\text{ଏବଂ } \rho = \frac{m}{ne^2 \tau}$$

$$\begin{aligned} \text{କିମ୍ବା } \tau &= \frac{m}{ne^2 \rho} = \frac{9.1 \times 10^{-31} (\text{ଗ୍ରାମ}) (\text{ମିଟର})^3}{1.1 \times 10^{23} \times (1.6 \times 10^{-19}) (\text{କୁଲମ୍ବ})^2 \times} \\ &\quad \times 1.72 \times 10^{-8} (\text{ଓମ୍-ମି}) \\ &= 2.0 \times 10^{-14} \text{ ସେକେଣ୍ଡ ।} \end{aligned}$$

## ୮। ପରିବହନର ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ (Free electron quantum theory of conduction)

ପର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ମାକ୍ସୱେଲଙ୍କ ବିତରଣ ନିୟମ (Maxwell distribution law) ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ ପ୍ରଯୋଜ୍ୟ ନୁହେଁ କାରଣ ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ (Pauli exclusion Principle) ଅନୁସାରେ ଯେ କୌଣସି ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସମାନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହ ପାରିବେ ନାହିଁ । ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ସ୍ପିନ୍ (Spin) ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଥିବା ସମୟରେ ସେମାନଙ୍କର ସବେଗ ସମାନ ହୋଇପାରେ । ଏଠାରେ ମନେ ରଖିବାକୁ ହେବ ଯେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ସବେଗ କେତେକ ପରିମାଣର ହୋଇପାରେ । ତାପନିମ୍ନ (Temperature) କମିଗଲେ ସବେଗର ନିମ୍ନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଯାଏ । ଏଥି ଯୋଗୁ ଶୂନ୍ୟ ତାପନିମ୍ନରେ ମଧ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ଗୁଡ଼ିକର

ସବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ ନାହିଁ । ତାପନିମ୍ନ ବଢ଼ିଲେ ଉପର ସବେଗ ସ୍ତରରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ଗୁଡ଼ିକ ତାପୀୟ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କରି ଉଚ୍ଚତର ସବେଗ ସ୍ତରକୁ ଯାଆନ୍ତି ( ଛାନ୍ଦ (5.5) ) । ଏହି ପ୍ରକାର ବିତରଣ ନିୟମକୁ ପର୍ଯ୍ୟ ବିତରଣ ନିୟମ କହନ୍ତି ଓ ଏହା ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ :



- (a) ଶୂନ୍ୟ ତାପନିମ୍ନରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଶକ୍ତି ସ୍ତର  
(b) ଉଚ୍ଚ ତାପନିମ୍ନରେ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଯାଇଥିବା କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍

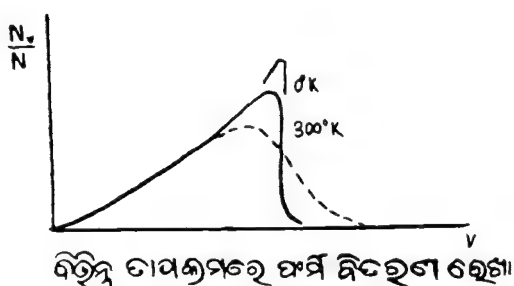
ଛାନ୍ଦ (5.5)

$$\frac{Nv}{N} = \frac{8\pi m^3}{h^3} \frac{v^2}{e \left( \frac{mv^2}{2} - E_m \right) / KT + 1}$$

ଯେଉଁଠାରେ  $E_m$  = ଶୂନ୍ୟ ଉତ୍ତାପ ତାପନିମ୍ନରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ଉଚ୍ଚତମ ଶକ୍ତି । ବିଭିନ୍ନ ତାପନିମ୍ନରେ ପର୍ଯ୍ୟ ବିତରଣ ରେଖା ( ଛାନ୍ଦ (5.6) ରେ) ଟଣା



ଯାଇଥାନ୍ତି । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଉତ୍ତର ତାପନରେ ଫର୍ମି ବିତରଣ ରେଖା, ମାକ୍ସୱେଲ ବିତରଣ ରେଖା ସହଜ ସମାନ ହୋଇଯାଏ ।



ଚିତ୍ର (5.6)

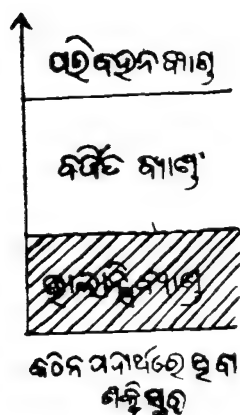
ଫର୍ମି ବିତରଣ ନିୟମ ସାହାଯ୍ୟରେ ତାପନ କମିବା ସ୍ଥଳେ ସ୍ଥଳେ ଫିଜିଆଲର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ (specific heat) ହ୍ରାସର କାରଣ ବୁଝି ହୁଏ । ଫର୍ମି ତତ୍ତ୍ୱାନୁସାରେ ତାପନ କମିବା ପାଇଁ ଫିଜିଆଲର ମାସ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଭାଗ ନିଅନ୍ତି । ଅବଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ନିମ୍ନତର ସ୍ତରରେ ଅବସ୍ଥା ହୋଇ ଥାଆନ୍ତି । ସେଥି ଯୋଗୁଁ ସେ କୌଣସି ତାପନରେ ଫିଜିଆଲ ଉତ୍ତରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପରିବାହନରେ ଭାଗ ନେଇ ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ତେଣୁ ବିଭିନ୍ନ ଧାତୁର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପରିବାହନ ଉନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

## ୯ । ବ୍ୟାଣ୍ଡ ତତ୍ତ୍ୱ (Band theory)

ଅମେ ଅଗରୁ ଅଲୋଚନା କରୁଛୁ ସେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁର ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ଥାଏ । ପରମାଣୁର (Valancy) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଅବସ୍ଥାନ କଲେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ପରମାଣୁକୁ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ପ୍ରଦାନ କଲେ, ପରମାଣୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ଯାଇ ଅନ୍ୟ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଅବସ୍ଥାନ କରେ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ କୌଣସି ଏକ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଫେରି ଆସିଲେ ତାହା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଆଲୋକ ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରୁଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ଗ୍ୟାସୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ପରସ୍ପର-ଠାରୁ ଦୂରତା ବେଶୀ ଥିବାରୁ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍

ପ୍ରଭାବ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉପରେ ପଡ଼େ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅତି ନିକଟରେ ଥିବାରୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ପ୍ରଭାବ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଉପରେ ପଡ଼େ । ଫଳରେ ପରମାଣୁର କେତେକ ନୂତନ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ଓ କେତେକ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ମଧ୍ୟ ନାଶ ହୋଇଥାଏ । ପରମାଣୁର କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ସମୂହକୁ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ (energy bands) କହନ୍ତି । ଏହି ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଧ୍ୟରେ ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ଥାଏ ।

ସାଧାରଣତଃ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ (energy bands) ଥାଏ ।



ଚିତ୍ର (5.7)

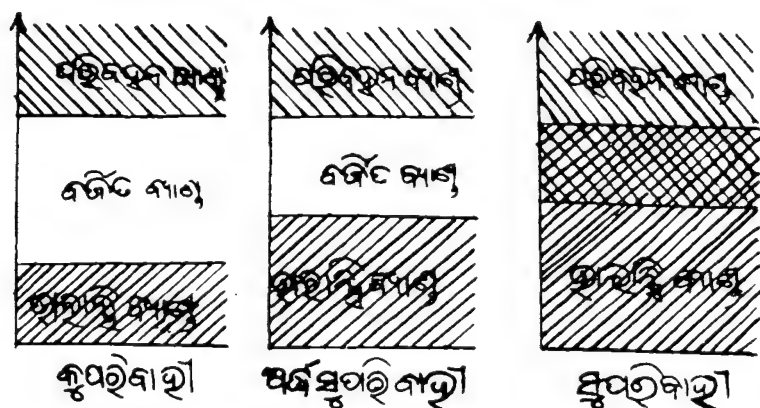
ଚିତ୍ର (5.7) ରେ କେବଳ 3 ଟ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଚିତ୍ର ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହା ବ୍ୟତୀତ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଥାଏ । ଏଠାରେ ସେଗୁଡ଼ିକର ଅବଶ୍ୟକତା ନ ଥିବାରୁ ଚିତ୍ରରେ ଦେଖା ଯାଇ ନାହିଁ ।

ଚିତ୍ରର ଉପରେ ଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ପରିବହନ (conduction) ବ୍ୟାଣ୍ଡ କହନ୍ତି । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ବାହ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତ୍ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ଵାରା ସହଜରେ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୋଇ ପାରନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ବହୁତଗୁଡ଼ିଏ

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥାଆନ୍ତି, ସେହି ପଦାର୍ଥଟି ଏକ ସୁପରିବାହୀ ।

ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନରେ ଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ବର୍ଜିତ (Forbidden) ବ୍ୟାଣ୍ଡ କୁହାଯାଏ । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ରହି ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନରେ ଥିବା ଭ୍ରାନ୍ତିମୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଅତିନିମ୍ନ କର ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଯାଇପାରନ୍ତି ଓ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ଭ୍ରାନ୍ତିମୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଆସି ପାରନ୍ତି । ଏହି ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଆକାର କିମ୍ବା ପରିବହନ ଓ ଭ୍ରାନ୍ତିମୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଦୂରତା ଯୋଗୁ କଠିନ ପଦାର୍ଥଟି ସୁପରିବାହୀ (Conductor), କୁପରିବାହୀ (Insulator) କିମ୍ବା ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ (Semiconductor) ହୋଇଥାଏ ଚିତ୍ର ନମ୍ବର (5.8-a) ରେ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଓ ସାନ୍ଦ୍ରତା

ହୋଇ ଥିବାରୁ ଭଲନ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ନେବା ପାଇଁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହେଉଥାଏ, ତେଣୁ ତାହା ଗୋଟିଏ କୁପରିବାହୀ । ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀରେ ବର୍ଦ୍ଧିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଓସାର କମ୍ ( ଚିତ୍ର (5.8-b) )



ଚିତ୍ର (5.8)

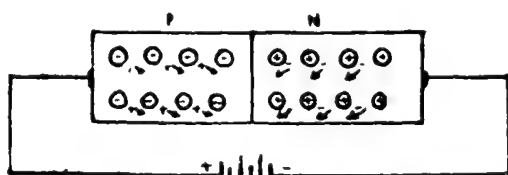
ହୋଇଥିବାରୁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ କମ୍ ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଭଲନ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଯାଇପାରେ । କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀରେ ବର୍ଦ୍ଧିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ନ ଥାଏ କିମ୍ବା ( ଚିତ୍ର (5.8-c) ) ଭଲନ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସରିବା ପୂର୍ବରୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଆରମ୍ଭ ହୋଇ ଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ଅତି ସହଜରେ ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଯାଇପାରେ ।

## ୧୦ । ଟ୍ରାନ୍ସିଷ୍ଟରସ (Transistors)

ବର୍ତ୍ତମାନ ରେଡ଼ିଓ ଟେଲିଭିଜନ ପ୍ରଭୃତିରେ ଭଲ୍‌ଭ ବଦଳରେ ଟ୍ରାନ୍ସିଷ୍ଟରସ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଛି । ଟ୍ରାନ୍ସିଷ୍ଟରସ ସାଧାରଣତଃ ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ ସାହାଯ୍ୟରେ ତିଆରି ହୋଇଥାଏ । ଜର୍ମେନିୟମ (Germanium) ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ (Semi conductor) । ଏହା ସମ୍ଭବ ହୁଏ ଥିଲା ପରିମାଣର ଏଣ୍ଟିମୋନି (Antimony) ମିଶାଇ ଦେଲେ ଜର୍ମେନିୟମର ପରିବହନ ଶକ୍ତି ବଢ଼ିଯାଏ । କାରଣ ଏଣ୍ଟିମୋନି ମିଶାଇ ଦେବା ଦ୍ୱାରା ଜର୍ମେନିୟମ ଭିତରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିଯାଏ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଜର୍ମେନିୟମ ସମ୍ଭବ ଅତି ଥିଲା ପରିମାଣର ଗ୍ୟାଲିୟମ (Gallium) ମିଶାଇ ଦିଆଯାଏ, ତେବେ ଗ୍ୟାଲିୟମ କିଛି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଜର୍ମେନିୟମରୁ ନେଇଯାଏ,

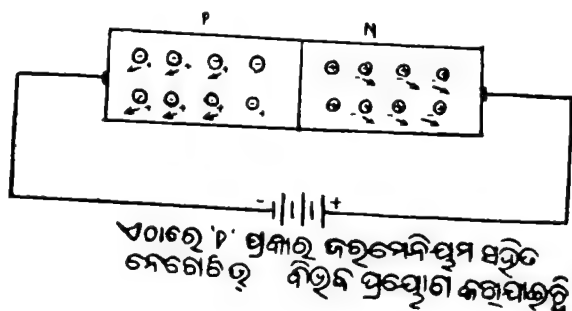
ଫଳରେ ଜରମେନିୟମରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥାନ ଖାଲି ପଡ଼ିଯାଏ । ତାହାକୁ ତାହା ଏକ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ୍ ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପରି କାମ କରେ । ଏହାକୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ହୋଲ (Electron hole) କହନ୍ତି । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ମଧ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ପ୍ରବାହ ହୋଇଯାଏ । ପ୍ରଥମ ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମକୁ 'n' ପ୍ରକାର ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ପ୍ରକାରକୁ 'p' ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମ କୁହାଯାଏ । ଉଭୟ ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହୋଇପାରେ ।

ଯଦି ଏହି ଦୁଇ ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମକୁ ଏକାଠି ଯୋଡ଼ି ଦିଆଯାଏ, ତାହାହେଲେ ତାହା ଇତର ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ମାତ୍ର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗରେ ହୋଇପାରେ ; କିନ୍ତୁ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ଯଦି ଚାନ୍ଦ ନମ୍ବର (5.9) ଅନୁସାରେ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହେବ । କାରଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ନେଗେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହୋଇ ପଜେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରିବ । ସେହିପରି ହୋଲଗୁଡ଼ିକ ପଜେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହୋଇ ନେଗେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରିବ ଓ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହେବ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଚାନ୍ଦ ନମ୍ବର (5.10) ଅନୁସାରେ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହୁଏ ନାହିଁ । କାରଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ପଜେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ଆଡ଼କୁ ଓ ହୋଲଗୁଡ଼ିକ ନେଗେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ଆଡ଼କୁ ଆକର୍ଷିତ ହୁଅନ୍ତି ଫଳରେ ଜରମେନିୟମର ମଧ୍ୟ ଭାଗଟି ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବିମ୍ବା ହୋଇ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଯାଏ ଫଳରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ସହଜରେ ଏ. ସି. (A. C.) କୁ ଡି. ସି. (D. C.) ରେ ପରିଣତ କରାଯାଇପାରେ ।

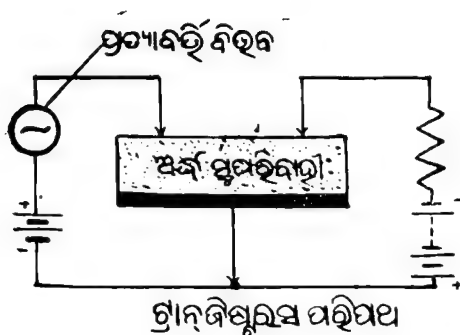


ଏଠାରେ 'p' ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମ ସହିତ  
ପଜେଟିଭ୍ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଉଛି ।

ଗୋଟିଏ  $n$  ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମକୁ ଚିତ୍ର (5.11) ଅନୁସାରେ ସଂଯୋଗ କରି ତାହାକୁ ଏକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପରିବର୍ଦ୍ଧକ (Current amplifier) ରୂପାନ୍ତରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରେ ।



ଚିତ୍ର (5.10)



ଏହିପରି ଭାବରେ  $p$  ଓ  $n$  ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମକୁ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରରେ ସଂଯୋଗ କରି ତାକୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ କାମରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ।

ଚିତ୍ର (5.11)

## ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍  $0.75e$  ପରିବେଗରେ ଗତିକଲେ ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ହେବ ?
2. ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍  $1.25$  କି: ଗ୍ରୋ: ବିଭବାନୁର ଡ୍ରାଉ ଡ୍ରାଉ ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ହେବ ? ( $346 \text{ A}$ )
3. ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତି ଶକ୍ତି  $28.8$  ଅର୍ଗ ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? ( $0.049 \text{ A}$ )

4. ଗୋଟିଏ ଗଳିଣୀୟ କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 1 A ହେଲେ, ତାହାର ଗତି ଶକ୍ତି ଆର୍ଗ ଓ ଇଃ ଭେ: ରେ ପ୍ରକାଶ କର । (19.86 ଆର୍ଗ)
5. କାର୍ବିକ ଯୁଦ୍ଧ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ତରଙ୍ଗ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରନ୍ତି ?
6. ବେଳେବେଳେ ପଦାର୍ଥ ତରଙ୍ଗ ପରି ଓ ତରଙ୍ଗ କଣିକା ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ । ତେବେ କେଉଁ ପରିସ୍ଥିତିରେ ପଦାର୍ଥ ଓ ତରଙ୍ଗ କ୍ରମବିଭାବେ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ତାହା କିପରି ଜାଣିବ ?
7. ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତି ଶକ୍ତି 10 ମି: ଇଃ ଭେ: ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?
8. ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଓଜନ  $0.5 \times 10^{-8}$  ଗ୍ରାମ୍ ହେଲେ ଓ କଣିକାର ବେଗ 2.0 ସେ ମି / ସେକେଣ୍ଡ ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?
9. ଏକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପୂର୍ଣ୍ଣ ପାତ୍ର 20. C ତାପନମରେ ରହୁଥିଲେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ହାରାହାରି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? (1.5 A)
10. 0.4 A ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇବା ପାଇଁ କେତେ ଭୋଲ୍ଟର ବିଭବ ଦରକାର ? (960 ଭୋଲ୍ଟ)
11. ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ମାଇକ୍ରୋସ୍କୋପ ଦ୍ଵାରା ଏକ ପରମାଣୁକୁ ଦେଖିବା ପାଇଁ 1 A ବିଶିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗ ଦରକାର ହୁଏ, ତେବେ :
  - (a) ଦରକାର ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ର ସଂନିମ୍ନ ଶକ୍ତି କେତେ ?
  - (b) ସାଧାରଣ ମାଇକ୍ରୋସ୍କୋପରେ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଫୋଟନର ସଂନିମ୍ନ ଶକ୍ତି କେତେ ?
  - (c) କେଉଁ ମାଇକ୍ରୋସ୍କୋପ ସାହାଯ୍ୟରେ ପରମାଣୁକୁ ଦେଖିବା ବେଶୀ ସମ୍ଭବ ଓ କାର୍ଯ୍ୟକ ?
12. ବିଦ୍ୟୁତ୍ତକ ପ୍ରତିରୋଧ (electrical resistance) ର କାରଣ କ'ଣ ?
13. ତାପନମର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଲେ ସୁପରିବାହୀର ନା ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ (Semi conductor) କାହାର ବିଦ୍ୟୁତ୍ତକ ପ୍ରତିରୋଧର ସଂଯୋଗ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ଏବଂ କାର୍ଯ୍ୟକ ?

14. ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ନିଉକ୍ଲିୟସ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଦୂରତା  $1.15 \text{ \AA}$  । ଯଦି ଏକ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଗୁଡ଼ିକ  $52^\circ$  କୋଣ କରି ପ୍ରତିଫଳିତ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ପ୍ରଥମ ପ୍ରକାର ପ୍ରତିଫଳନ (First order reflection) ପାଇଁ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଗୁଡ଼ିକର ଗତି ଶକ୍ତି କେତେ ? ( $0.025$  ଇ: ଭୋ:)
15.  $2.0 \times 10^{-13}$  ସେ.ମି: ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ଅବଦ୍ଧ ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ଗତି ଶକ୍ତି କେତେ ? ( $51$  ମି: ଇ: ଭୋ:)
16. ମନେକର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍  $60 \times 10^{-7}$  ସେ.ମି: ଦୂରରେ ଥିବା ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର ଦ୍ୱାରା ଅବଦ୍ଧ ହୋଇଥିବୁ, ତାହାହେଲେ ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ଲିନୋର୍ଥ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଥିବା ସମୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଶକ୍ତି କେତେ ?
17.  $2 \times 10^{-8}$  ଗ୍ରାମ୍ ଓଜନର ଧୂଳି କଣା  $1$  ମି:ମି: ଦୂରରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟରେ  $1 \times 10^{-4}$  ସେ.ମି:/ସେକେଣ୍ଡ ବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ତେବେ ତାହାର ଗତିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା କେତେ ?
18.  $10 \text{ A}$  ଦୂରରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଅବଦ୍ଧ କରିବାକୁ ହେଲେ, ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରର ଉଚ୍ଚତା କେତେ ?
19. ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ (Pauli exclusion principle) ବ୍ୟବହାର କରି ପ୍ରକାଶ କର ଯେ ସପ୍ତମ କକ୍ଷର ଦ୍ୱିତୀୟ ଉପକକ୍ଷରେ କେତୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ରହିବ ?
20. ସୋଡ଼ିୟମର ଦଳ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ— $2.5 \times 10^{-10} \frac{(\text{ମି})^3}{\text{କୁଲମ୍ବ}}$  ଓ ପ୍ରତିଭେଦ  $4.3 \times 10^{-8}$  ଓମ୍-ମିଟର ହେଲେ, ସୁଦ୍ଧା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଓ ଦ୍ୱାରଦ୍ୱାରା ସଂଘଟନ ସମୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।  
( $2.5 \times 10^{22}/(\text{ସେ.ମି.})^3$  ;  $10^{-11}$  ସେକେଣ୍ଡ)

# ଷଷ୍ଠ ଅଧ୍ୟାୟ

## ନିଉକ୍ଲିୟାର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

( Nuclear Physics )

ପରମାଣୁ ଗଠନର ଉଦ୍ଭାବନ ପରେ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ପାଇବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । 1896 ମସିହାରେ ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁର ଉଦ୍ଭାବନ ହେଲା । 1919 ମସିହାରେ ପ୍ରଥମେ ରଦରଫୋର୍ଡ (Rutherford) ପରୀକ୍ଷାଗାରରେ ଏକ ପରମାଣୁକୁ ଅନ୍ୟ ଏକ ପରମାଣୁରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିବାକୁ ଯତ୍ନ ହେଲେ । ସେହି ଦିନଠାରୁ ନିଉକ୍ଲିୟାର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଉପରେ ବିପ୍ଳବର ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ ହେଲା ।

### ୧ । ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁ ଓ ତାର ଉଦ୍ଭାବନ ( Radioactive element and their discovery )

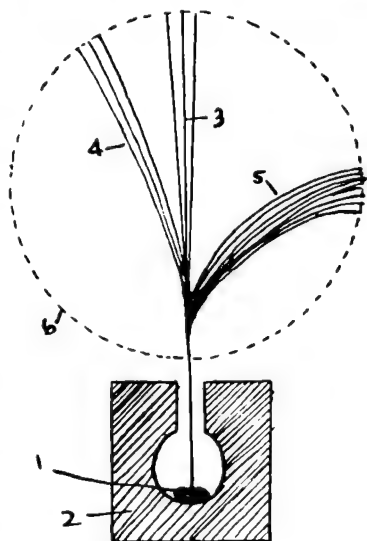
1896 ମସିହାରେ ବେକ୍ବେରେଲ୍ (Becquerel) ଇଉରାନିୟମ୍ ଲବଣର ପ୍ରତିସ୍ପାଦି (Fluorescence) ଉପରେ ଗବେଷଣା କରି ଦେଖାଇଲେ ଯେ କେତେକ ଇଉରାନିୟମ୍ ଥିବା ଲବଣରୁ ଏକ ପ୍ରକାର ବିକିରଣ ବାହାରୁଛି ।

ଏହି ବିକିରଣ ସଫଳରେ କଳା କାଗଜ ଓ ଟିଣପତ୍ର ଇତ୍ୟାଦି ପଦାର୍ଥ ଉପରେ ଦେଇ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ । ପୁନଶ୍ଚ କ୍ରମଶଃ ପରୀକ୍ଷାରୁ ସେ ଜାଣିଲେ ଯେ ଏହି ବିକିରଣ ଇଉରାନିୟମ୍‌ର ଏକ ବିଶେଷ ଅଭିଲକ୍ଷଣ (characteristic) ଓ ଏହି ବିକିରଣ ଦ୍ବାରା ଇଉରାନିୟମ୍‌ର ବିଶେଷ କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । ଯେଉଁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ଏହି ପ୍ରକାର ବିକିରଣ ହେଉଥାଏ, ତାହାକୁ ତେଜସ୍ବିୟ ପଦାର୍ଥ (Radioactive element) କୁହାଯାଏ । ପରେ ପରେ ଥୋରିୟମ୍ ନାମକ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍ବିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଉଦ୍ଭାବନ ହେଲା । ପେରି ଓ ମାରିକ୍ କ୍ୟୁରି (Pierre and Marie Curie) ରେଡିୟମ୍ ଓ ପୋଲୋନିୟମ୍ (Radium and Polonium) ନାମକ ଦୁଇଟି ତେଜସ୍ବିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଉଦ୍ଭାବନ କଲେ ।



## ୨। ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁର ବିକିରଣ (Radiations from radioactive atom)

ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ତିନି ପ୍ରକାର ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରୁ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି । ଏହି ତିନି ପ୍ରକାର ରଶ୍ମିକୁ ଆଲ୍ଫା ( $\alpha$ ), ବିଟା ( $\beta$ ) ଓ ଗାମା ( $\gamma$ ) ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକର ଧର୍ମ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ରଶ୍ମିକୁ ରୁମ୍ବକ ଶକ୍ତି ସାହାଯ୍ୟରେ ସହଜରେ ଚିହ୍ନି ହୁଏ । ଆଲ୍ଫା ଓ ବିଟା ରଶ୍ମି ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ଗଲେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ସେମାନେ ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦିଗ ପ୍ରତି ସମକୋଣ କରି ଗତି କରନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ଆଲ୍ଫା ଓ ବିଟା ରଶ୍ମି ପରସ୍ପରର ବିପରୀତ ଦିଗକୁ ବଙ୍କେଇ ଯାଆନ୍ତି । ସାଧାରଣ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପରିସାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ କେବଳ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଯୁକ୍ତ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ଗତି କଲେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ । ତେଣୁ ବିଟା ଓ ଆଲ୍ଫା ରଶ୍ମି ଉଭୟ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଯୁକ୍ତ । ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ପଥରୁ ବିଟା ରଶ୍ମି ଗୁଣ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଯୁକ୍ତ ଓ ଆଲ୍ଫା ରଶ୍ମି ଧନ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଯୁକ୍ତ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ ।



କିନ୍ତୁ ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ବାରା  $\gamma$  ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । ପରିସାର ଓ ଆଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଏ ବିଟା ରଶ୍ମି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍, ଆଲ୍ଫା ରଶ୍ମି ଗଣଶୀଳ ହିଲିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ ଗାମା ରଶ୍ମି ବିଦ୍ୟୁତ୍ ରୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ (electromagnetic waves) ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ କିଛି ନୁହେଁ ।

1. ତେଜସ୍ବିୟ ପଦାର୍ଥ
2. ଲେଡ୍‌ବାକ୍ସ
3.  $\gamma$  ରଶ୍ମି
4.  $\alpha$  ରଶ୍ମି
5.  $\beta$  ରଶ୍ମି
6. ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର

## ୩ । ତେଜସ୍ବିୟ ରଶ୍ମି ଗୁଡ଼ିକର ଧର୍ମ ( Properties of radio-active rays )

ତେଜସ୍ବିୟ ରଶ୍ମି ଦ୍ବାରା ଫଟୋଗ୍ରାଫିକ୍ ପ୍ଲେଟ୍ ଓ ପ୍ରଭାସ୍ପତି ପରଦା (Fluorescent Screen) ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ । କେବଳ ଆଲଫା ବିଟା ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥ ରୂପକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ବାରା ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ ; କିନ୍ତୁ ଗାମା ରଶ୍ମି ରୂପକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ବାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ ନାହିଁ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ରଶ୍ମି ଅଳ୍ପ ବହୁତ ପରିମାଣରେ ବିଭିନ୍ନ ମାଧ୍ୟମ ଭେଦ କରି ଆସନ୍ତି ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅୟନୀକରଣ (Ionisation) କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୁଅନ୍ତି । ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକର ଏହସବୁ ଧର୍ମ ବ୍ୟବହାର କରି ସେଗୁଡ଼ିକ ବିଷୟରେ ବିଶେଷ ଜ୍ଞାନ ସଂଗ୍ରହ କରାଯାଇଥାଏ ।

ସାଧାରଣ ବାୟୁରେ ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ପରିସର (range) ମାତ୍ର ଅଳ୍ପ କେତେ ସେଣ୍ଟିମିଟର । ଏହା ସହଜରେ କାଗଜ ପରଦାକୁ ମଧ୍ୟ ଅତିକ୍ରମ କରି ପାରେ ନାହିଁ କିନ୍ତୁ ବିଟା ରଶ୍ମିର ପରିସର ଏହାଠାରୁ ଯଥେଷ୍ଟ ବେଶୀ । ଏହାର ପରିସର ବାୟୁରେ କେତେ ମିଟର ଓ ଏହା ଏକ ମିଲିମିଟର ମୋଟା ଆଲୁମିନିୟମକୁ ମଧ୍ୟ ସହଜରେ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ । ଗାମା ରଶ୍ମି ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳ ଦ୍ବାରା ପ୍ରାୟ ଶୋଷିତ ହୁଏ ନାହିଁ । ଏହା ସେଣ୍ଟିମିଟର ମୋଟା ଲେଡ୍ (Lead) କୁ ମଧ୍ୟ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ ।

ରୂପକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ବିଦ୍ୟୁତ୍ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ବାରା ବିଟା ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତିନରୁ ଜଣାଯାଏ ଏହା ଋଣ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଯୁକ୍ତ, ଏହାର ଚାର୍ଜ୍ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ବର ଅନୁପାତ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କଲେ ତାହା କ୍ୟାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମିର ଅନୁରୂପ ଅନୁପାତ ସହଜ ସମାନ ହୁଏ । ତେଣୁ ବିଟା ରଶ୍ମି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବୋଲି ଜଣାପଡ଼େ ।

ସେହିପରି ରୂପକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ବିଦ୍ୟୁତ୍ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ବାରା ହେଉଥିବା ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ବିକ୍ଷେପରୁ (deflection) ତାର ପରିବେଗ, ଚାର୍ଜ୍ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ବର ଅନୁପାତ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ଅନୁପାତ ଅୟନୀତ ଉଦଜାନର (ionised Hydrogen) ଅନୁରୂପ ଅନୁପାତର ପ୍ରାୟ ଅଧା । ରଦରଫୋର୍ଡ୍ ଏବଂ ଗାଇଗର୍ (Rutherford and Geiger) ପ୍ରଥମେ ଦୁଇଟି ପରୀକ୍ଷା ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲଫା

ରଶ୍ମିର ଗୁଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ପାରିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ଦୁଇଟି ଦେଲ ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍ବିୟ ପଦାର୍ଥରୁ ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବା ଆଲଫା ରଶ୍ମିକୁ ଅନ୍ୟ ରଶ୍ମି-ମାନଙ୍କଠାରୁ ପୃଥକ କରି ଏକ ଧାତବ ପରଦା ଉପରେ ପକାଯାଏ । ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ଦ୍ବାରା ପରଦାରୁ ସଂଗୃହୀତ ହୋଇଥିବା ଗୁଣକୁ ମପାଯାଏ । ତେଜସ୍ବିୟ ପଦାର୍ଥରୁ ସେହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବିକିରିତ (radiated) ହେଉଥିବା ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ । ଯେଉଁ ଉପକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ ତାହାକୁ ଗାର୍ଡଗର କାଉଣ୍ଟର (Geiger Counter) କୁହାଯାଏ । ଏହି ଉପରେକ୍ତ ଦୁଇ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ଗୁଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ । ଏହି ଗୁଣର ପରିମାଣ ଅସ୍ବନିତ ଉଦ୍ଜାନ ଗୁଣର ପରିମାଣର ଦୁଇ ଗୁଣ । ଯେହେତୁ

$$\left(\frac{e_{\alpha}}{M_{\alpha}}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{e_H}{M_H}\right)$$

$$\text{ତେଣୁ } M_{\alpha} = 2 \frac{M_H e_{\alpha}}{e_H} = 4M_H$$

ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ଗୁଣ ଅସ୍ବନିତ ଉଦ୍ଜାନର ଗୁଣର ଦୁଇ ଗୁଣ ଓ ବସ୍ତୁର ଉଦ୍ଜାନ ବସ୍ତୁର ଗୁଣଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ସ୍ବଲୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବ୍ୟାଜିତ ଅନ୍ୟ କିଛି ନୁହେଁ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ ।

ଅନ୍ୟ ଏକ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମଧ୍ୟ ପ୍ରମାଣ କରାଯାଇପାରେ ଯେ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ସ୍ବଲୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଅଟେ । ପରୀକ୍ଷାଟି ଦେଲ ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ କାଚ ନଳା ଭିତରକୁ କିଛି ଆଲଫା ରଶ୍ମି ନିଷେପ କରାଯିବା ପରେ ନଳା ଭିତର ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ବିସର୍ଜନ (discharge) କରାଗଲେ ସ୍ବଲୟମ୍‌ର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (spectrum) ମିଳେ । କିନ୍ତୁ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ନିଷେପ ପୂର୍ବରୁ ବିଦ୍ୟୁତ ବିସର୍ଜନ କରାଗଲେ ସ୍ବଲୟମ୍‌ର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ ମିଳେ ନାହିଁ । କାରଣ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ସ୍ବଲୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ହୋଇ ଥିବାରୁ ତାହା ନଳା ଭିତରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଗ୍ରହ କରି ସ୍ବଲୟମ୍ ପରିମାଣରେ ପରିଣତ ହୁଏ ଓ ସ୍ବଲୟମ୍ ପରିମାଣ ବିଦ୍ୟୁତ ବିସର୍ଜନ ଦ୍ବାରା ଉତ୍ତେଜିତ (excited) ହୋଇ ଆଲୋକ ବିକିରଣ କରେ ।

## ୪ । ତେଜସ୍ବିୟ ବିକିରଣ ଦ୍ବାରା ଆୟୁନୀକରଣ ( Ionisation by radioactive radiation )

ଦ୍ରୁତଗାମୀ  $\alpha$  କିମ୍ବା  $\beta$  ରଶ୍ମି କୌଣସି ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଚଳି କଲାବେଳେ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁମାନଙ୍କ ସହ ଧକ୍କା (collision) ଲାଗେ । ଏଥି ଯୋଗୁ ଆୟୁନୀକରଣ (ionisation) ହୁଏ । ଶୁଣା ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ବେଶୀ ହେଲେ ଆୟୁନୀକରଣ ବେଶୀ ହୁଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଆୟୁନୀକରଣ କରିବାରେ  $\beta$  ରଶ୍ମିଠାରୁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଓ  $\beta$  ରଶ୍ମି,  $\gamma$  ରଶ୍ମି ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ।  $\gamma$  ରଶ୍ମିର ଆୟୁନୀକରଣ କରିବାର ଶକ୍ତି ଏକକ ଧରିଲେ  $\beta$  ରଶ୍ମିର 100 ଓ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ପ୍ରାୟ 10,000 ହେବ ।

ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ (cloud chamber) କିମ୍ବା ବୁଦ୍‌ବୁଦ୍ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ (bubble chamber) ସାହାଯ୍ୟରେ ଆୟୁନୀକାରୀ (ionising) କଣିକା (Particle) ର ଗତି ପଥର ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ନିଆ ଯାଇପାରେ । ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍‌ରୁ ଜଣାଯାଏ



୧. ସଂଘଟନ ଦ୍ବାରା  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ପଥ ଦୃଢ଼ପରି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଛି



୨a. ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ  
...  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ପଥ



$$\text{ତେଣୁ } \int \frac{dN_t}{N_t} = -\lambda \int dt$$

$$\text{କିମ୍ବା } \log N_t = -\lambda t + c$$

ଯଦି  $t=0$ , ସମୟରେ ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟା  $N_0$  ହୁଏ, ତେବେ  $c = \log N_0$

$$\text{କିମ୍ବା } N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (6.2)$$

ଯଦି  $T$  ସମୟରେ  $N_t = \frac{N_0}{2}$  ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \quad (6.3)$$

$$\text{କିମ୍ବା ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ } T = \frac{0.693}{\lambda}$$

ଯଦି ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁର ହାରାହାରି ଜୀବନ କାଳ  $T_a$  ହୁଏ, ତେବେ

$$T_a = \frac{1}{\lambda}$$

ଯେଉଁ ପରମାଣୁର ତେଜସ୍ବିୟ ପଦାର୍ଥ ସେକେଣ୍ଡକୁ  $3.7 \times 10^{10}$  ବିଘଟନ (disintegration) କରିପାରେ ତାହାକୁ କ୍ୟୁରି (curie) ବା ତେଜସ୍ବିୟତାର ଏକକ କୁହାଯାଏ । ଏହି ଏକକର ପରମାଣୁ ଅଧିକ ହୋଇଥିବାରୁ ମିଲି କ୍ୟୁରି (Milli Curie) ବା ମାଇକ୍ରୋ କ୍ୟୁରି (Micro Curie) କୁ ଏକକ ସ୍ବସାବରେ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ।

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍ବିୟ ପଦାର୍ଥର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ 6 ଦିନ ହେଲେ, କେତେ ଦିନ ପରେ ସମ୍ପ୍ରଦାୟ ପଦାର୍ଥର 20 ଭାଗରୁ ଭାଗେ ରହିବ ?

ସମୀକରଣ (6.3) ରୁ ଆମେ ପାଇଁ

$$\lambda = \frac{\log 2}{6} = \frac{0.693}{6.3} = 0.11 / \text{ଦିନ}$$

$$\text{ତେଣୁ } \frac{N}{N_0} = \frac{1}{20} = e$$

$$\text{କିମ୍ବା } -0.11t = \log \left( \frac{1}{20} \right) = -2.995 \text{ ଦିନ}$$

$$t = 27.2 \text{ ଦିନ}$$

ଉଦାହରଣ—

$R_{228}$  ର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ 1620 ବର୍ଷ ହେଲେ, ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ରେଡିୟମ୍‌ର ତେଜସ୍ବିୟତା (activity) କେତେ ?

ସମୀକରଣ (6.3) ରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$\lambda = \frac{\log 2}{1620 \text{ ବର୍ଷ}} = 4.28 \times 10^{-14} / \text{ବର୍ଷ}$$

$$= 1.36 \times 10^{-11} / \text{ସେକେଣ୍ଡ}$$

ଯଦି ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ରେଡିୟମ୍‌ର ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା  $N$  ହୁଏ,

$$\text{ତେବେ } N = \frac{6.25 \times 10^{23} \times 1}{226} = 2.7 \times 10^{21} \text{ ପରମାଣୁ}$$

$$\text{ତେଜସ୍ବିୟତା} = \lambda N = (1.36 \times 10^{-11} / \text{ସେକେଣ୍ଡ}) \times (2.7 \times 10^{21} \text{ ପରମାଣୁ})$$

$$= 3.6 \times 10^{10} \text{ ଦିଗଟନ/ସେକେଣ୍ଡ}$$

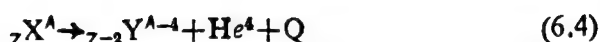
$$= 0.97 \text{ କ୍ୟୁରି ।}$$

## ୭ । ଗାମା ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ ( $\gamma$ -Decay )

ଯେପରି ପରମାଣୁ ବିଭିନ୍ନ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଫେରି ଆସି ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରଥାଏ, ସେହିପରି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ଫେରି ଆସି  $\gamma$  ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରଥାଏ । ଏହି ବିକିରଣ ଦ୍ବାରା ନିଉକ୍ଲିୟସର ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା (atomic number) କିମ୍ବା ବସ୍ତୁତ୍ବ ସଂଖ୍ୟା (mass number) ର କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ ।  $\gamma$  ରଶ୍ମି କ୍ଷୟର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ସାଧାରଣତଃ କମ୍ । ଏହି ବିକିରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶେଷ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରି ହୁଏ ।

## ୭ । ଆଲ୍ଫା ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ ( $\alpha$ -Decay )

ନିଉକ୍ଲିୟସରୁ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ବିକିରଣ ହେଲେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ବ ସଂଖ୍ୟା (Mass number) 4 ଏବଂ ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା (atomic number) 2 କମିଯାଏ । ତେଣୁ  $\alpha$  ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ ଯୋଗୁ ପରମାଣୁଟି ଅନ୍ୟ ଏକ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ ।



ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମୟରେ କିଛି ବସ୍ତୁତ୍ବର ବିନାଶ ହୋଇ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଏହି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ଗତି ଶକ୍ତି ଓ ପ୍ରତିସ୍ଥିତି (recoil) ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗତି ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟି ସହତ ସମାନ । ଏହି ଉତ୍ପନ୍ନ ଶକ୍ତିକୁ ବିଘଟନ ଶକ୍ତି (disintegration energy)  $Q$  କହନ୍ତି ।

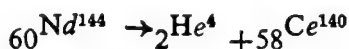
$$Q = E_{\alpha} + E_{\text{recoil}} = (m_p - m_r - m_{\alpha})c^2$$

ଏଠାରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ବ ପରିବର୍ତ୍ତେ ପରିମାଣର ବସ୍ତୁତ୍ବ ବ୍ୟବହାର କଲେ କିଛି ଭୁଲ ହେବ ନାହିଁ । କାରଣ ବିଘଟନ ପୂର୍ବରୁ ଓ ପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ସମାନ ରହୁଛି । ତେଣୁ

$$Q = (m_x - m_y - m_{He}) \quad (6.5)$$

ଉଦାହରଣ—

ନିମ୍ନରେ ଦିଆ ଯାଇଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବିଘଟନ ଶକ୍ତିର (disintegration energy) ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।



ଅଭିଯୋଗୀ ବସ୍ତୁତ୍ବ ତାଲିକାରୁ ମିଳେ

$${}_2He^4 = 4.00387, \quad {}_{58}Ce^{140} = 139.94777$$

$$\text{ଏବଂ } {}_{60}Nd^{144} = 143.95556$$

ତେଣୁ ବସ୍ତୁତ୍ବ ସମ୍ବର ପରିମାଣ =

$$143.95556 - (4.00387 + 139.94777) = 0.00192$$

$$\text{ତେଣୁ } Q = mc^2 = 0.00192 \times 9 \times 10^{20} = 1.79 \text{ ମି: ଇ: ଭୋ:}$$

ଉଦାହରଣ—

$\alpha$  ରଶ୍ମି ବିଘଟନ ସମୟରେ ବିଘଟନ ଶକ୍ତିର କେତେ ଭାଗ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ଗତି ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ ?

ବିଘଟନ ସମୟରେ ଶକ୍ତିର ଓ ସଂରକ୍ଷଣର ସଂରକ୍ଷଣ (Conservation) ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ

$$Q = \frac{1}{2}m_r u_r^2 + \frac{1}{2}m_{\alpha} u_{\alpha}^2$$



ଏବଂ  $m_{\alpha} u_{\alpha} = m_r u_r$  କିମ୍ବା  $u_r = \frac{m_{\alpha}}{m_r} u_{\alpha}$

$$Q = \frac{1}{2} m_r \frac{m_{\alpha}^2}{m_r^2} u_{\alpha}^2 + \frac{1}{2} m_{\alpha} u_{\alpha}^2$$

$$= \frac{1}{2} m_{\alpha} u_{\alpha}^2 \left( 1 + \frac{m_{\alpha}}{m_r} \right)$$

କିମ୍ବା  $E_{h,\alpha} = \frac{Q}{1 + \frac{m_{\alpha}}{m_r}}$

ଯଦି ମୂଳ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା  $A$  ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{m_{\alpha}}{m_r} \simeq 1/A - 1 \text{ ତେଣୁ } E_{h,\alpha} \simeq \frac{A-4}{A} Q$$

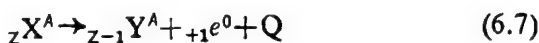
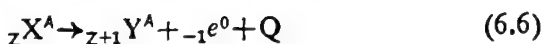
ମୂଳ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ଅଧିକ ହେଲେ, ପ୍ରାୟ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ଗତି ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ ।

## ୮ । ବିଟା ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ ( $\beta$ -Decay)

ଅମେ ଜାଣୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ନ ଥାଏ । ତେଣୁ ବିଘଟନ ସମୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗଠନର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇ  $\beta$  ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଅସେ । ଏହି ଦୁଇ ସ୍ତରର ଶକ୍ତିର ପ୍ରଭେଦରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି (Rest energy) ଓ ଗତି ଶକ୍ତି (kinetic energy) ମିଳିଥାଏ ।

ସାଧାରଣତଃ ବିଘଟନ ସମୟରେ ଦୁଇ ପ୍ରକାର  $\beta$  ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ ଘଟିଥାଏ । ଏକ ପ୍ରକାର ବିଘଟନ ସମୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ପ୍ରକାର ବିଘଟନ ସମୟରେ ପଜିଟ୍ରନ୍ (Positron) ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବିକିରଣ ସମୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଏକ ନିଉଟ୍ରନ୍ ପ୍ରୋଟନ୍‌ରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ତେଣୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିଯାଏ । ସେହିପରି ପଜିଟ୍ରନ୍ ବିକିରଣ ସମୟରେ ଏକ ପ୍ରୋଟନ୍

ନିଉଟ୍ରିନ୍‌ରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ତେଣୁ ପରମାଣବୀୟୁ ଫଣ୍ୟା କମିଯାଏ ।  
ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ—

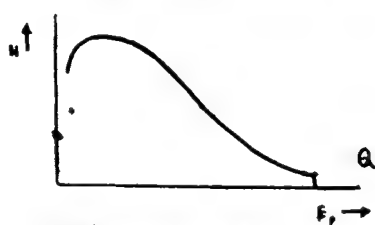


ସମୀକରଣ (6.6)ରୁ ମିଳେ ଯେ ମୂଳ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସୂକ୍ଷ୍ମ ହୋଇଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସମଷ୍ଟିଠାରୁ ବେଶୀ ହେବା ଦରକାର ନଚେତ  $\beta^-$  ବିକିରଣ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ ।

କିନ୍ତୁ  $\beta^+$  ବିକିରଣର ତତ୍ତ୍ୱ ସାମାନ୍ୟ ଜଟିଳ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯଦି  ${}_Z X^A$  ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ  ${}_{Z-1} Y^A$  ର ବସ୍ତୁତ୍ୱଠାରୁ ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ ନିଉକ୍ଲିୟସ  $\beta^+$  ବିକିରଣ କରିପାରେ । ତେଣୁ ଏହା ଅସ୍ପଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଯଦି  $m_x$  ଏବଂ  $m_y$  ମୂଳ ଏବଂ ଶେଷ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହୁଏ, ତେବେ

$$Q = m_x - m_y - 2m_e c^2$$

ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଜଣାଯାଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବା ପଜିଟ୍ରନ୍‌ର ଶକ୍ତି ଶକ୍ତି ବିଘଟନ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମାତ୍ରାରେ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ  $\beta$  ରଶ୍ମି ବିକିରଣର



ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମାତ୍ରାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ

ଚିତ୍ର (6.4)

ତତ୍ତ୍ୱାଲୋଚନା କଲେ ଜଣାଯାଏ ଏହା ସବୁବେଳେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହେବା କଥା । କାରଣ ସ୍ଥିର ନିଉଟ୍ରିନ୍ ପ୍ରୋଟନ୍‌ରେ ବିପ୍ଳା ସ୍ଥିର ପ୍ରୋଟନ୍ ନିଉଟ୍ରିନ୍‌ରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବା ସମୟରେ  $\beta$  ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଅସୁବିଧା ଦୂର କରିବା

ପାଇଁ 1934 ମସିହାରେ  $\beta$  ରଶ୍ମି ସହିତ ନିଉଟ୍ରିନୋ (Neutrino) ନାମକ ଅନ୍ୟ ଏକ କଣିକାର ବିକିରଣ ହେଉଥିବାର କଳ୍ପନା କରାଗଲା । ଏହା ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ ଏବଂ ଏହା ଅଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପରିବେଶରେ ଗତିକରେ ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା । ବିଘଟନ ଶକ୍ତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରିନୋ (Neutrino)

ମଧ୍ୟରେ ବାଞ୍ଛି ହୋଇ ଯାଉଥିବାରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ବିଘଟନ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣ ବୋଲି ଜଣା ପଡ଼ୁଥିଲା । 1956 ରେ ଏହି କଣିକାର ସ୍ଥିତି ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ଵାରା ପ୍ରମାଣ କରାଯାଇଛି ।

## ୯। ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍ଵିୟ ଶ୍ରେଣୀ ( Natural Radio Active Series )

ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ତେଜସ୍ଵିୟ ପରମାଣୁ ବିଘଟନ ପରେ ଏକ ନୂଆ ତେଜସ୍ଵିୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି । ଏହି ନୂଆ ତେଜସ୍ଵିୟ ପରମାଣୁଟି ବିଘଟନ ପରେ ଅନ୍ୟ ଏକ ତେଜସ୍ଵିୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଏହିପରି ଭାବରେ ମୂଳ ପରମାଣୁଟି ବିଭିନ୍ନ ତେଜସ୍ଵିୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୋଇ ସବୁ ଶେଷରେ ଏକ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ତାପରେ ଆଉ ବିଘଟନ ହୁଏ ନାହିଁ ।

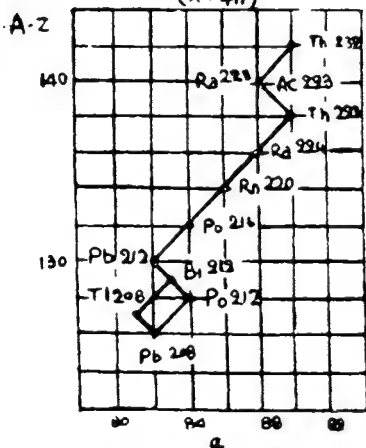
ସବୁ ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍ଵିୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଋଷିଗୋଟ୍ ତେଜସ୍ଵିୟ ଶ୍ରେଣୀରେ ଭାଗ କରାଯାଇପାରେ । ଯେଉଁ ତେଜସ୍ଵିୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ସଂଖ୍ୟା  $4n, 4n+1, 4n+2$  ଏବଂ  $4n+3$  ( $n$  ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା) ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଏକ ଭିନ୍ନ ଶ୍ରେଣୀର । କୌଣସି ଶ୍ରେଣୀର ନାମକରଣ ସେହି ଶ୍ରେଣୀର ସଦ୍ୟାସକ ବସ୍ତୁତ୍ଵ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ଅନୁସାରେ କରା ଯାଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ଵରୂପ ଥୋରିୟମ୍ (Thorium) ର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ସଂଖ୍ୟା 232 ତେଣୁ ଏହା  $4n$  ଶ୍ରେଣୀର ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଏହି ଶ୍ରେଣୀର ଅଣୁ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ସଂଖ୍ୟା 232 ରୁ କମ୍ ହୋଇ ଥିବାରୁ ଏହି ଶ୍ରେଣୀକୁ ଥୋରିୟମ୍ ଶ୍ରେଣୀ କୁହାଯାଏ । ସେହିପରି ଅନ୍ୟ ଶ୍ରେଣୀଗୁଡ଼ିକର ନାମ ହେଲା ନେପ୍ଟୁନିୟମ୍ (Neptunium), ଇଉରାନିୟମ୍ (Uranium), ଏକ୍ଟିନିୟମ୍ (Actinium) । କିନ୍ତୁ ନେପ୍ଟୁନିୟମ୍ ଶ୍ରେଣୀର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ପ୍ରାୟ ଦେଖାଯାଏ ନାହିଁ । କାରଣ ସେଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ( $T=2.2 \times 10^6$  ବର୍ଷ) ପୃଥିବୀର ସୃଷ୍ଟିଠାରୁ କମ୍ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ଶ୍ରେଣୀ ସବୁ ଶେଷରେ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁ ଲେଡ୍ (Lead) ରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ନେପ୍ଟୁନିୟମ୍ ଶ୍ରେଣୀ ଶେଷରେ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁ ଥାଲାନିୟମ୍ (Thalium) ରେ ପରିଣତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ତେଜସ୍ଵିୟ ଶ୍ରେଣୀଗୁଡ଼ିକର ଗଣ (6.5) ରେ ଦର୍ଶା ଯାଇଛି ।

## ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍ବିୟ ଶ୍ରେଣୀସମୂହ



## ଆରିୟସ୍ ଶ୍ରେଣୀ

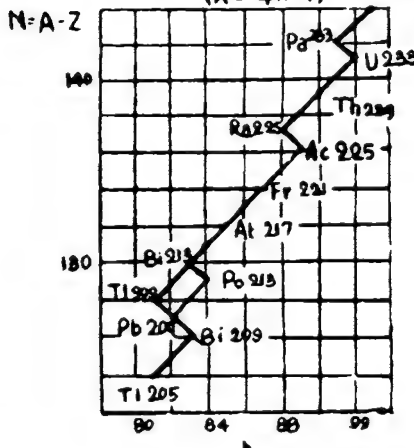
$$(A = 4n)$$



## ନେପ୍ଟୁନିୟସ୍ ଶ୍ରେଣୀ

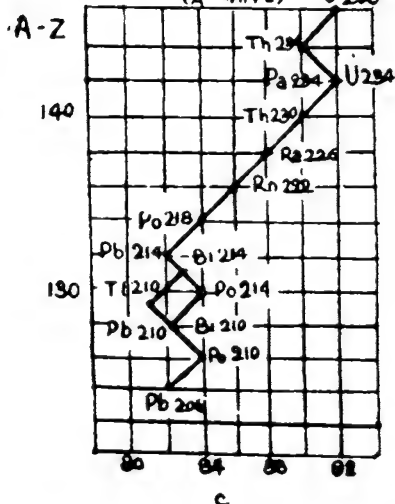
$$(A = 4n + 1)$$

No 239



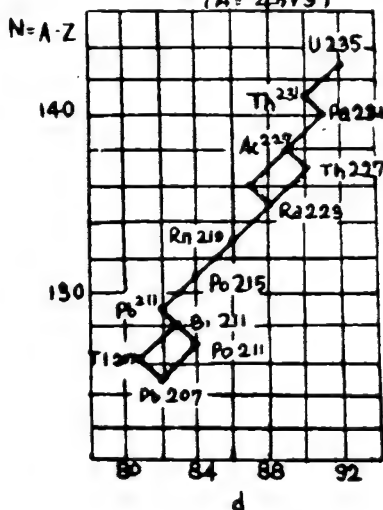
## ଉପ୍ଲୁଟିନିୟସ୍ ଶ୍ରେଣୀ

$$(A = 4n + 2)$$



## ଆକ୍ଟିନିୟସ୍ ଶ୍ରେଣୀ

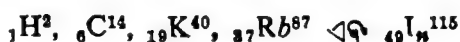
$$(A = 4n + 3)$$



ଚିତ୍ର (6.5)

ଉପରୋକ୍ତ ଶ୍ରେଣୀର ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ହୋଇ ନ ଥିବା ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ

ଡେକ୍ଟ୍ରୋନ୍ ପରମାଣୁ ପୃଥକ ପୃଷ୍ଠରେ ଦେଖାଯାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକରୁ କେତେକ ହେଲେ



ଯେତେବେଳେ ଏକ ଡେକ୍ଟ୍ରୋନ୍ ଶ୍ରେଣୀର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏକ ଜାଗାରେ ରହୁଥାଏ, ତେବେ କିଛି ସମୟ ପରେ ଏକ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥା (Steady State) ରେ ପହଞ୍ଚେ । ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଥିଲେ ଏକ ଏକକ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବିଘଟିତ ହେଉଥିବା ଯେ କୌଣସି ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟା  $N_1 \lambda_1$  ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ସହଜ ସମାନ କିମ୍ବା

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 = N_3 \lambda_3 \quad (6.8)$$

ଯେଉଁ ପରମାଣୁର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ କିମ୍ବା ବେଶି ସେଗୁଡ଼ିକର ବିଘଟନ ସ୍ଥିରାଙ୍କ (disintegration constant) (6.8) ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଥାଏ ।

## ୧୦ । କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ (Artificial disintegration)

କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପ୍ରଥମେ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ପ୍ରକାଶନ (Scattering) ପରୀକ୍ଷା ସମୟରେ ଉଦ୍ଭବିତ ହୋଇଥିଲା । ପରୀକ୍ଷାଟି ହେଲା 1918 ମସିହାରେ ରଦରଫୋର୍ଡ୍ (Rutherford) ବାୟୁକଣା ଦ୍ଵାରା  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ପ୍ରକାଶନର ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ମେଘ କୋଠରୀ (Cloud Chamber) ସାହାଯ୍ୟରେ ନେଉଥିଲେ । ଫଟୋରୁ ସେ ଦେଖିଲେ କେତେକ ଯାଗାରେ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥ ଦୂର ଭାଗରେ ବିଚଳି ହୋଇ ଯାଉଛି । ଏହା  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ବାୟୁକଣା ସହଜ ସଂଘଟନ ଯୋଗୁ ହେଉଥିବାର ଅନୁମାନ କରାଗଲା । କାରଣ ସଂଘଟନ ପରେ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଓ ବାୟୁକଣାର ବେଗ ଏବଂ ଗତି ପଥ ଏପରି ହେଉଛି ଯେ ଯାହା ଦ୍ଵାରା କି ଶକ୍ତି ଓ ସଂରକ୍ଷଣ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମର (Law of Conservation of momentum and energy) ବ୍ୟବହାର ହେଉ ନାହିଁ ।

ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍‌ରୁ ପୁଣି ଦେଖିଲେ ଯେ କେତେକ ଯାଗାରେ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ପଥ (Track) ର ଦିଗ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଛି । ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ପଥର ଦୂରତା ପ୍ରାୟ 40 ସେ.ମି. । ରଦରଫୋର୍ଡ୍ ପ୍ରଥମେ ଭାବୁଥିଲେ ଯେ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳରେ ଥିବା ଉଦ୍ଭାସନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହଜ ସଂଘଟନ ଯୋଗୁ ନିଉକ୍ଲିୟସଟି

ଭିନ୍ନ ଏକ ଦିଗରେ ଗତି କରି ଏହି ପଥ ସୃଷ୍ଟି କରୁଛି । କିନ୍ତୁ ପରେ ହଠାତ୍‌ରୁ ଜାଣିଲେ ଯେ  $\times$  ରଶ୍ମିର ଉଦ୍‌ଜ୍ଵାଳ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବା ପ୍ରୋଟନ୍ ସହଜ ଫସ୍ତନ ଯୋଗୁ ଯଦି ଏହି ପଥ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ ତେବେ, ଏହାର ଦୂରତା 28 ସେ:ମି:ରୁ ବେଶୀ ହେବ ନାହିଁ ଏବଂ ଏହାର ପଥର ଦିଗ  $\times$  ରଶ୍ମିର ପଥର ଦିଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । କିନ୍ତୁ ଫସ୍ତନ ପରେ ପ୍ରୋଟନ୍‌ଟି ଯେ କୌଣସି ଦିଗକୁ ଯାଉଛି ଏବଂ ଏହାର ଗତି ପଥର ଦିଗର,  $\times$  ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର ଦିଗ ସହଜ କୌଣସି ସମ୍ପର୍କ ରହୁ ନାହିଁ ।  $\times$  ରଶ୍ମିର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ଵଠାରୁ ମାତ୍ର 4 ଗୁଣ

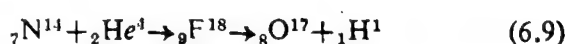


ରଦରଫୋର୍ଡଙ୍କ ଦ୍ଵାରା ଉଦ୍‌ଭବିତ ହୋଇଥିବା ପ୍ରଥମ କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନର ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଫଟୋଗ୍ରାଫ । ଏଠାରେ ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ପଥ (Track) ବାମ ତଳ ଅଞ୍ଚଳକୁ ଗତି କରିଛି ଓ ପ୍ରତିକ୍ଷିପ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସର ପଥ ଛାଡ଼ାଣର ଉପର ଅଞ୍ଚଳକୁ ଗତି କରିଛି । ଚନ୍ଦ୍ରରେ ବିଘଟନର ଅବସ୍ଥିତି ଘର ଦ୍ଵାରା ଚିତ୍ରିତ ହୋଇଛି ।

ଚିତ୍ର (5.6)

ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଫସ୍ତନ (Collision) ପରେ  $\times$  ରଶ୍ମିର ପ୍ରତିକ୍ଷେପ (recoil) ର ପଥ ରହୁ ନାହିଁ । ତେଣୁ ସେ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଏକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ବୋଲି ଭାବିଲେ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ମେଘ କୋଠର ଭିତରେ ଥିବା ବାୟୁ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ଶୂନ୍ୟ ହେଲେ ଏହି ଘଟଣା ଦେଖା ଯାଉନାହିଁ । ଏହି

ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ପରିମାଣ ବେଶୀ ହେଲେ ଏହି ଘଟଣାର ସଂଖ୍ୟା ବେଶୀ ହେଉଛି । ଏହିଥିରୁ ଅନୁମାନ କରାଗଲା  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଓ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ମଧ୍ୟରେ ସଂଘଟନ ହୋଇ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହେଉଛି । ସଂଘଟନ ଦ୍ଵାରା  $\alpha$  ରଶ୍ମି ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ଵାରା ଶୋଷିତ ହେଉଛି ଏବଂ ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରତିସ୍ଥା ଯୋଗୁ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହେଉଛି । ଏହି ପ୍ରତିସ୍ଥା ପୂର୍ବରୁ ବସ୍ତୁତ୍ଵ ସଂଖ୍ୟା ଏବଂ ପରିମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ଯାହା ଥାଏ ପ୍ରତିସ୍ଥା ପରେ, ତାର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । ଏହି ପ୍ରତିସ୍ଥାକୁ ଏକ ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ।



ଏଠାରେ ମନେ ରଖିବାକୁ ହେବ ଯେ ସମୀକରଣର ପ୍ରତ୍ୟେକ ରାଶିର ବାମର ନିମ୍ନକୁ ଲେଖା ଯାଇଥିବା ସଂଖ୍ୟାଟି ହେଉଛି ପରିମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା (Atomic number) ଓ ଡାହାଣର ଉର୍ଦ୍ଧ୍ଵକୁ ଲେଖା ଯାଇଥିବା ସଂଖ୍ୟାଟି ହେଉଛି ବସ୍ତୁତ୍ଵ ସଂଖ୍ୟା (Mass number) ।

## ୧୧ । ଶକ୍ତିଶାଳୀ କଣିକାର ଉତ୍ପାଦନ (Production of High energy Particles)

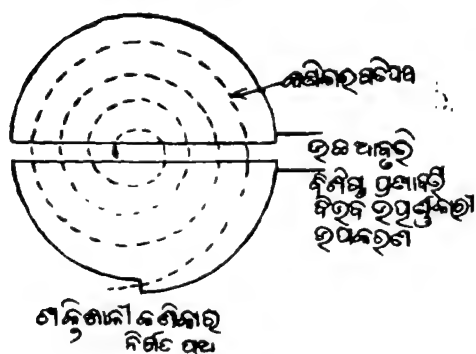
ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ପରିମାଣର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ (artificial disintegration)ର ଉଦ୍‌ଭାବନା ପରେ ଅନ୍ୟ ପରିମାଣୁ ସହତ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ସଂଘଟନ (collision) କରାଇ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ କରାଯାଇ ପାରିଲା ।  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଦ୍ଵାରା ଭାଗ ପରିମାଣୁଗୁଡ଼ିକର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ସମ୍ଭବ ହେଲା ନାହିଁ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସମଜାତୀୟ ବସ୍ତୁତ୍ଵ ଯୁକ୍ତ ହୋଇ ଥିବାରୁ ଉଭୟେ ପରସ୍ପର ଦ୍ଵାରା ବିକର୍ଷିତ ହୁଅନ୍ତି । ବଡ଼ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ମଧ୍ୟରେ ବିକର୍ଷଣ ବଳ ଅତ୍ୟଧିକ ହେବାରୁ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଭାଗ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ପ୍ରବେଶ କରିପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଭାଗ ନିଉକ୍ଲିୟସର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ପ୍ରୋଟନର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣର ଏବଂ ଓଜନର ୪ ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ ହୋଇ ଥିବାରୁ ଏହା ବଡ଼ ନିଉକ୍ଲିୟସର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ପାଇଁ ଅଧିକ ଉପଯୁକ୍ତ ବୋଲି ବିବେଚନା କରାଗଲା । ପ୍ରୋଟନର ଗତି ଶକ୍ତି ଯେତେ ଅଧିକ ହେବ ଏହା ସେତେ ସହଜରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବୈଦ୍ୟୁତିକ

ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉପରେ ପଶି ଯାଇ ବିଘଟନ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରିବ । ତେଣୁ ବିଘଟନ ପାଇଁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିହାଳ ଦରକାର ।

1930 ମସିହାରେ କକ୍‌କ୍ରଫ୍ଟ (Cockcroft) ଏବଂ ୱାଲଟନ୍ (Walton) ପ୍ରୋଟନ୍‌କୁ 700 ଇଃ ଭେ: ବିଭବାନ୍ତର (Potential difference) ଦ୍ଵାରା ତ୍ଵରିତ (accelerate) କରାଇ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ପାଇ ପାରିଥିଲେ । ଗୁର୍ଜ କଣିକାର ଶକ୍ତିକୁ ସାଧାରଣତଃ ଇଃ ଭେ:ରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଏକ ଗ୍ଲୋଷ୍ଟ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ଵାରା ତ୍ଵରିତ ହୋଇ ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କରେ ତାକୁ ଏକ ଇଃ ଭେ କହନ୍ତି । କକ୍‌କ୍ରଫ୍ଟ (Cockcroft) ଏବଂ ୱାଲଟନ୍ (Walton) ମି: ଇଃ ଭେ: ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ ସମ ହୋଇଥିଲେ ।

1930 ମସିହାରେ ଇ. ଓ. ଲରେନ୍ସ (E. O. Lawrence) ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଅନ୍ୟ ଏକ ନୂତନ ଉପାୟରେ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ କିମ୍ବା ଅନ୍ୟ ଗ୍ରସ୍ତ କରି ପାରିଥିଲେ । ତାହାକୁ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ (Cyclotron) କୁହାଯାଏ । ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍‌ର ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଦେଲ ଦୁଇଟି ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାକାର

### ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍‌ର ଚିତ୍ର



ଚିତ୍ର (6.7)

ଅବସ୍ଥାରେ ଏକ ଗତିଶୀଳ ଗୁର୍ଜ କଣିକା ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ କେନ୍ଦ୍ରରେ ଛିଡ଼ି ହୋଇଗଲେ ତାହା ଏକ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗିବ । ଏହା ଏକ କୋଠରୀରୁ ଅନ୍ୟ କୋଠରୀକୁ ଯିବା ସମୟରେ ବହୁତ ସ୍ପେଷ ଦେଇ ତ୍ଵରିତ କରା ହୁଏ । ତେଣୁ ଏହା ଦ୍ଵିତୀୟ କୋଠରୀରେ ପୁଣି

ପୋଲି ଧାତୁ ନିର୍ମିତ ବାକ୍ସ । ଏହା ପରସ୍ପରଠାରୁ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଗୁଣ୍ଠି (Insulator) ଦ୍ଵାରା ଅଲଗା ରଖା ଯାଇଥାଏ । ଏହି ବାକ୍ସ ଦୁଇଟିକୁ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ରଖା ଯାଇଥାଏ । ଚାଷରେ ରୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦର୍ଶା ଯାଇ ନାହିଁ କିନ୍ତୁ ଏହା କାଗଜକୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରଖା ଯାଇଥାଏ । ଏହି



ବୃତ୍ତର ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତକାର ପଥରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗେ । ବିନ୍ଦୁ ଏହାର ବେଗ ବଢ଼ି ଯାଇଥିବାରୁ ବୃତ୍ତକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବଢ଼ି ଯାଇଥାଏ । ଏହୁପରି ଭାବରେ ଏହା ଏକ କୋଠରୀରୁ ଅନ୍ୟ କୋଠରୀକୁ ଯିବା ସମୟରେ ଏହାର ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ । ଯଦି କୌଣସି କୋଠରୀରେ ଗୁରୁତ୍ବ କଣିକାର ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ  $r$  ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{mv^2}{r} = qBv \quad \text{କିମ୍ବା} \quad r = \frac{mv}{Bq} \quad (6.10)$$

ଯେଉଁଠାରେ  $v$  = କଣିକାର ପରିବେଗ

$B$  = ତୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର

$q$  = କଣିକାର ଗୁରୁତ୍ବ

ଯଦି ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତକୁ ଅଭିକ୍ରମ କରିବା ପାଇଁ କଣିକାକୁ  $\frac{T}{2}$  ସମୟ ଲାଗେ, ତେବେ

$$\frac{T}{2} = \frac{\pi r}{v} = \frac{m\pi}{Bq} \quad (6.11)$$

ତେଣୁ ସମୟ କଣିକାର ପରିବେଗ କିମ୍ବା ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଉଚ୍ଚ ଆବୃତ୍ତ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବ (Alternating Potential) ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୁରୁତ୍ବ କଣିକାକୁ ତ୍ୱରିତ କରାଯାଏ । ଗୁରୁତ୍ବ କଣିକାଟି ଥରକୁ ଥର ତ୍ୱରିତ ହୋଇ ଏକ ପ୍ରକାର ସର୍ପିଳ (Spiral) ପଥ ଦେଇ ଗତି କରେ । ଏହୁପରି ଭାବରେ ଅନେକ ଥର ବୁଲି କଣିକାଟି ପ୍ରଭୁର ଶକ୍ତି ସଂଗ୍ରହ କରିବା ପରେ ତୁମ୍ବକ ଶକ୍ତି ଲଗାଇ ବାହାରକୁ ଅଣାଯାଏ ।

ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରୋଟନ୍ ଇଉଟ୍ରନ୍ (Deuteron) ଓ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ପ୍ରଭୃତି ଗୁରୁତ୍ବ କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ତ୍ୱରିତ କରାଯାଇପାରେ । ଶକ୍ତିଶାଳୀ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ 10 ମି: ଇ: ଡ୍ରୋ: ପ୍ରୋଟନ୍ 20 ମି: ଇ: ଡ୍ରୋ:ର ଇଉଟ୍ରନ୍ ଓ 40 ମି: ଇ: ଡ୍ରୋ:ର  $\alpha$  ରଶ୍ମି ପ୍ରସ୍ତୁତ କରାଯାଇପାରେ ।

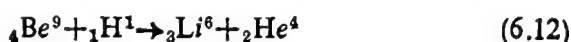
ହସାବରୁ ଜଣାଯାଏ 4.7 ମି: ଇ: ଡ୍ରୋ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ପରିବେଗ ଆଲୋକର ପରିବେଗର 10 ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ । ତେଣୁ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୃଦ୍ଧି ହୋଇଥାଏ । କଣିକାର ଦୃଷ୍ଟିନ ସମୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବାରୁ ଦୃଷ୍ଟିନ ସମୟ ବଢ଼ିଯାଏ । ତେଣୁ ଏହା ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ଠିକ୍ ଭାବରେ ତ୍ୱରିତ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ଏଥି ଯୋଗୁ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ମିଡ଼ିଆବା ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ଶକ୍ତି ସୀମିତ ।

ଏହି ଅସ୍ତ୍ରୋଧା ସିଂକ୍ରୋଟ୍ରୋନ୍‌ରେ (Synchrocyclotron) ଦୂର ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରଥମେ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଥିବା ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବାନ୍ତରର ଅନୁଭବ  $Bq/2\pi m_0$  ନିଆଯାଏ । କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବାନ୍ତରର ଅନୁଭବ ଅପେ ଅପେ କମିଯାଏ । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ 500 ମି: ଇ: ଶ୍ରେ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗର୍ଜନ କଣିକା ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇପାରେ । ସେହିପରି ବିଟାଟ୍ରନ୍ (Betatron) ସାହାଯ୍ୟରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରାଯାଇପାରେ । ଏହା ଦ୍ୱାରା 350 ମି: ଇ: ଶ୍ରେ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ମିଳିପାରେ । ଏକ ଦୃଢ଼ତା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରୁଥିବାରୁ ଅତି ବେଶୀ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରାଯାଇପାରେ ନାହିଁ ।

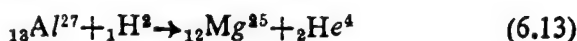
### ୧୭ । ଦୃଢ଼ତା କଣିକା ଦ୍ୱାରା ବିଘଟନ (Disintegration by accelerated Particles )

ବିଭିନ୍ନ ଦୃଢ଼ତା କଣିକା ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଘଟନ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ତଳେ କେତୋଟି ଫିଝଟନର ଉଦାହରଣ ଦିଆ ଯାଇଅଛି—

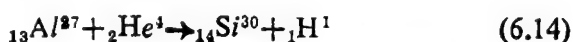
ପ୍ରୋଟନ୍—



ଉତ୍ତ୍ରେନ୍—

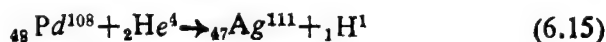


$\alpha$  ରଶ୍ମି—



ବିଘଟନ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ବେଳେ ବେଳେ ତେଜସ୍ୱିୟ ହୋଇଥାନ୍ତି । ସେଗୁଡ଼ିକୁ କୃତ୍ରିମ ତେଜସ୍ୱିୟ ପରମାଣୁ କୁହାଯାଏ । ସେହି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ  $\alpha$  ବିମ୍ବ  $\beta$  ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଅନ୍ତି । ସେଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ମଧ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ।

ଉଦାହରଣ—



ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ 7.5 ଦିନ ।

# ୧୩ । ବିଘଟନ ସମୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏବଂ ଶକ୍ତିର ରୂପାନ୍ତର ( Transformation of Mass and energy during disintegration )

ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରତିଯୁଗ ସମୟରେ ଶକ୍ତିର ବିନାଶ ହୁଏ ଓ ଉତ୍ପତ୍ତି ହୁଏ । ସେଥିଯୋଗୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ହ୍ରାସ କିମ୍ବା ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ । ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବିନାଶ ହେଲେ ଶକ୍ତିର ଉତ୍ପତ୍ତି ହୁଏ । ପରମାଣୁର ଓଜନ ପ୍ରାୟ  $10^{-22}$  ଗ୍ରାମ୍ ହୋଇ ଥିବାରୁ ପରମାଣୁର ଓଜନକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପାଇଁ ଅନ୍ୟ ଏକ ଏକକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ତାହାକୁ ପରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ (Atomic mass unit) କୁହାଯାଏ । ଏହାର ପରିମାଣ ଅକ୍ସିଜେନ୍ ପରମାଣୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର 16 ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ କିମ୍ବା 1 ଅ. ମା. ଉ.  $= 1.66 \times 10^{-24}$  ଗ୍ରାମ୍ । ଯଦି 1 ଅ. ମା. ଉ. ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ, ତେବେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା  $E = \Delta mc^2 = 1.660 \times 10^{-24}$  (ଗ୍ରାମ୍)  $\times$

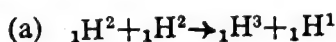
$$(2.998 \times 10^{10} \text{ ସେ:ମି:}/\text{ସେକେଣ୍ଡ})^2 \\ = 14.94 \times 10^{-4} \text{ ଅର୍ଗ} = 14.94 \times 10^{-11} \text{ ଯୁଲ୍}$$

$$\text{ଅମେ ଜାଣୁ 1 ମି. ଉ. ଭୋ:} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ ଯୁଲ୍}$$

$$\text{ତେଣୁ 1 ଅ. ମା. ଉ.} = \frac{14.94 \times 10^{-11}}{1.602 \times 10^{-13}} \text{ ମି. ଉ. ଭୋ.} \\ = 931. \text{ ମି. ଉ. ଭୋ.}$$

ଉଦାହରଣ—

ନିମ୍ନରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରତିଯୁଗରେ ଶକ୍ତିର ହ୍ରାସ କିମ୍ବା ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର :—



$$(a) \text{ 2}({}_1\text{H}^2) \text{ ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲା } = 2 \times 2.015 = 4.03 \text{ ଅ. ମ. ଉ.}$$

$${}_1\text{H}^3 \text{ ଓ } {}_1\text{H}^1 \text{ ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲା } = 3.017 + 1.008 = 4.025$$

$$\text{ବସ୍ତୁତ୍ୱର ହ୍ରାସ} = 4.03 - 4.025 = .005 \text{ ଅ. ମ. ଉ.}$$

ତେଣୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ

$$= .005 \times 931 = 4.655 \text{ ମି. ଉ. ଭୋ.}$$

(b)  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଓ  ${}^7\text{N}^{14}$ ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲେ

$$14.0075 + 4.0039 = 18.0114 \text{ ଅ. ମା. ଉ.}$$

ଏବଂ  ${}^8\text{O}^{17}$  ଓ  ${}^1\text{H}^1$  ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲେ

$$17.0045 + 1.0081 = 18.0126 \text{ ଅ. ମା. ଉ.}$$

ତେଣୁ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ

$$18.0126 - 18.0114 = .0012 \text{ ଅ. ମା. ଉ.}$$

$$\text{ତେଣୁ ଶକ୍ତି ହ୍ରାସର ପରିମାଣ} = .0012 \times 931$$

$$= 1.12 \text{ ମି. ଉ. ଭୋ.}$$

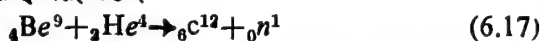
ଅନ୍ୟ କେତେକ ବିଘଟନରେ  $\gamma$  ରଶ୍ମି ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ ।  
ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ



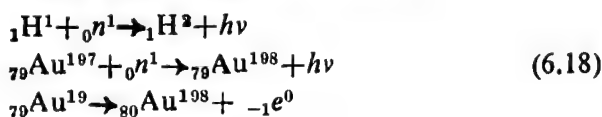
## ୧୪ । ନିଉଟ୍ରନ୍ର ଉଦ୍ଭାବନ ( Discovery of Neutron )

1930 ମସିହାରେ ବେଥେ (Bethe) ଏବଂ ବେକର (Beaker)  $\alpha$  ରଶ୍ମି ଓ ବେରିଲ୍‌ୟମ୍ (Beryllium) ଫ୍ଲୋଟନ (Collision) ଫଳରେ ଏକ ନୂତନ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଅନ୍ତ୍ରର୍ଦ୍ଧେୟ (Penetrating) ବିକିରଣ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବାର ଦେଖିଲେ । ଏହି ବିକିରଣ ଉପରେ ରୂମ୍ବକ କ୍ଷେପ ଓ ବିଦ୍ୟୁତ୍ କ୍ଷେପର ପ୍ରଭାବ ନ ଥିବାରୁ ଏହାକୁ  $\gamma$  ରଶ୍ମି ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା । ଏହି  $\gamma$  ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 10 ମି. ଉ. ଭୋ. । ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବେରିଲ୍‌ୟମ୍ ଓ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ଫ୍ଲୋଟନ ସମୟରେ ବିନାଶ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ସହଜ ପ୍ରାୟ ସମାନ । କିନ୍ତୁ 1932 ମସିହାରେ କ୍ୟୁରୀ (Curie) ଏବଂ ଯୋଲିଓଟ୍ (Joliot) ଦେଖିଲେ ଯେ ଏହି ବିକିରଣ ଉଦ୍ଭାବନ ଥିବା ପଦାର୍ଥ ଦେଇ ଅଭିକ୍ରମ କଲେ ଅଧିକ ଆୟୁନୀକରଣ କରି ପାରୁଛି । କିନ୍ତୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍ ନ ଥିବା ପଦାର୍ଥ ଦେଇ ଅଭିକ୍ରମ କଲେ ଆୟୁନୀକରଣ କରି ପାରୁ ନାହିଁ । ଏହିଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ପରମାଣୁ ସହଜ ଫ୍ଲୋଟନ ଫଳରେ ଏକ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହୁଏ ଓ ଏହି ପ୍ରୋଟନ୍ ଅଧିକ ଆୟୁନୀକରଣ କରିଥାଏ । ପଦାର୍ଥରେ ଉଦ୍ଭାବନ ପରମାଣୁ ନ ଥିଲେ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହୁଏ ନାହିଁ, ତେଣୁ ଆୟୁନୀକରଣ ହୁଏ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ସେହି ପରିମାଣର ଆୟୁନୀକରଣ ପାଇଁ 50 ମି. ଉ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ  $\gamma$  ରଶ୍ମି ଦରକାର ।

ଚାଡ଼ୱିକ (Chadwick) ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜାଣିଲେ ଯେ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସ୍ତର ପଦାର୍ଥରୁ ଯଦି ପ୍ରୋଟନ୍ ବାହାରେ ଥିବା ସମାନ ହୋଇଥିବା ଏକ ଗୁଣ ଶୂନ୍ୟ କଣିକା ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ ଉପସ୍ଥାପନା ଅସମ୍ଭବ ଅଟେ । ସତ୍ୟରେ ତୁର ହୋଇଥିବ । ଏହି ନୂତନ କଣିକାର ନାମ ନିଉଟ୍ରନ୍ (Neutron) ଏବଂ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସ୍ତର ପ୍ରତିସ୍ପୀଡ଼ିତ ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ



ନିଉଟ୍ରନ୍ ଗୁଣ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅନ୍ତର୍ଦ୍ଧେୟ ଏବଂ ମେଘ କୋଠରୀରେ ପଥ (Track) ସୃଷ୍ଟି କରିପାରେ ନାହିଁ । କାରଣ ଗୁଣ କଣିକା-ଗୁଡ଼ିକ ଭୁଲମ୍ଭ, ବଳ ଯୋଗୁ ଅସ୍ପୀକାରଣ କରିପାରନ୍ତି ଓ ବେଶୀ ଦୂର ଯାଇ ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ନିଉଟ୍ରନ୍ ଗୁଣ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇ ଥିବାରୁ ତାହା ଅନ୍ୟ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସ୍ତର ଦ୍ଵାରା ଆକର୍ଷିତ ବା ବିକର୍ଷିତ ହୁଏ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସତ୍ୟରେ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସ୍ତର ଉତ୍ତରକୁ ପ୍ରବେଶ କରି ନିଉଟ୍ରନ୍ ସ୍ତର ପ୍ରତିସ୍ପୀଡ଼ିତ କରିପାରେ । ନିମ୍ନରେ କେତେକ ଉଦାହରଣ ଦିଆଗଲା ।



## ୧୫ । କସ୍ମିକ୍ ରଶ୍ମି (Cosmic rays)

1900 ମସିହାରେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ପୃଥିବୀର ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳର ଉପରି ଭାଗ ସବୁବେଳେ ଅସ୍ପୀକାର ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ । ପ୍ରଥମେ କଲ୍ମନା କରା ଯାଇଥିଲା ଯେ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ହେଉଥିବା ବିକିରଣ ଯୋଗୁ ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳର ଅସ୍ପୀକାର ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ 1910 ମସିହାରେ ଗୋକେଲ (Gockel) ପ୍ରକାଶ କଲେ ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳର ଅସ୍ପୀକାରଣର ପରିମାଣ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଦୂରତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଅଛି ଏବଂ ଦୂରତା ବଢ଼ିଲେ ଅସ୍ପୀକାରଣର ପରିମାଣ ବଢ଼ୁଛି । ତେଣୁ ଏହିପରି ଜଣାଗଲା ଯେ ପୃଥିବୀର ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳ, ବାହାରୁ ଆସୁଥିବା କୌଣସି ବିକିରଣ ଦ୍ଵାରା ଅସ୍ପୀକୃତ ହେଉଛି । ଏହି ବିକିରଣକୁ କସ୍ମିକ୍ ରଶ୍ମି ବୋଲି କୁହାଗଲା ।

ବିଭିନ୍ନ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା କସ୍ମିକ୍ ରଶ୍ମି ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅନ୍ତର୍ଦ୍ଧେୟ (Penetrating) ଏପରିକି ଏହା କୌଣସି ଗଭୀର ଦ୍ରବ୍ୟର ନିମ୍ନକୁ ଯାଇପାରେ । ପ୍ରଥମେ ଏହାକୁ ଏକ ପ୍ରକାର ଉଚ୍ଚ ଆବୃତ ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ

ବୋଲି ଧରି ନିଆ ଯାଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ କସ୍ମିକ୍ ରଶ୍ମିର ପରିମାଣ ପୃଥିବୀର ଅକ୍ଷାଂଶ (Latitude) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଏହା ଏକ ପ୍ରକାର ଗୁରୁତ୍ୱ କଣିକା ଓ ଏହା ପୃଥିବୀର ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହେଉଛି । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳରେ ଗତି କଲାବେଳେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିବାରୁ ଏହାକୁ ଚିହ୍ନିବା କଷ୍ଟକର । ତେବେ ହେଡେବୂର ଜଣାଯାଏ ଏହା ପ୍ରୋଟନ୍ ଏବଂ ନିଉଟ୍ରନ୍ସ ସହ ଏକ ପ୍ରକାର ଧନାତ୍ମକ ଗୁରୁତ୍ୱ କଣିକା ।

## ୧୭ । ପଜିଟ୍ରନ୍ (Positron)

1932 ମସିହାରେ ସି. ଇ. ଅଣ୍ଡରସନ ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ମେଘ କୋଠରୀକୁ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ରଖି କସ୍ମିକ୍ ରଶ୍ମି ଉପରେ ଗବେଷଣା କରୁଥିବା ସମୟରେ ମେଘ କୋଠରୀ ଭିତରେ କେତେକ ଯୁଗ୍ମପଥ (Pair of tracks) ଦେଖି ପାରିଲେ । ଏକ ଯୁଗ୍ମପଥ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପଥ ବୋଲି ଜଣାଗଲା ଏବଂ ଅନ୍ୟଟି ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବାରୁ ଏହା ଧନାତ୍ମକ ଗୁରୁତ୍ୱ କଣିକା ବୋଲି ଜଣାଗଲା ଓ ଏହାର ଓଜନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ଓଜନ ସହତ ସମାନ । ଏହି କଣିକାକୁ ପଜିଟ୍ରନ୍ (Positron) ବୋଲି କୁହାଗଲା ।

ପଜିଟ୍ରନ୍ କସ୍ମିକ୍ ରଶ୍ମି ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମୟରେ ଓ ପରିମାଣୁ ବିଘଟନ ସମୟରେ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ କିନ୍ତୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ଅତି କମ୍ ହୋଇଥିବାରୁ ସେଗୁଡ଼ିକ ସବୁବେଳେ ମିଳନ୍ତି ନାହିଁ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଓ ପଜିଟ୍ରନ୍ ଏକାଠି ମିଳିତ ହୋଇ ଫୋଟନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରନ୍ତି । ବେଳେ ବେଳେ ମଧ୍ୟ ଏକ ଫୋଟନ୍ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ୍ ଓ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ ।

$$+1e^0 + -1e^0 = h\nu$$

$$(6.19)$$

## ୧୭ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ (Formation of a nucleus)

ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉକ୍ଲିୟସ କେତେକ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଓ ପ୍ରୋଟନ୍ରୁ ନେଇ ଗଠିତ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗୁରୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ପ୍ରୋଟନ୍ଗୁଡ଼ିକର ଗୁରୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ସହତ ସମାନ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସମଷ୍ଟି ସହତ ପ୍ରାୟ ସମାନ । କୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରୋଟନ୍

ଫଳାଂ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଥାଇ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଫଳାଂ କମ୍ ବା ବେଶୀ ହେଲେ ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ମୂଳ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅଇସୋଟୋପ କୁହାଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ବରୂପ ଉଦଜାନ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ୍ ରହଲେ ତାହାକୁ ଇଟ୍ରିୟମ୍ ଓ ଦୁଇଟି ନିଉଟ୍ରନ୍ ରହଲେ ଟ୍ରଟିୟମ୍ କୁହାଯାଏ । ଇଟ୍ରିୟମ୍ ଓ ଟ୍ରଟିୟମ୍ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଉଦଜାନର ଏକ ଅଇସୋଟୋପ୍ । ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉପରେ ଥିବା ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ପ୍ରତ୍ୟେକକୁ ନିଉକ୍ଲିୟନ୍ (Nucleon) କହନ୍ତି ।

ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ବ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉପରେ ଥିବା ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ର ବସ୍ତୁତ୍ବର ସମଷ୍ଟିଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ କମ୍ । ଉଦାହରଣ ସ୍ବରୂପ—

$$\begin{aligned} \text{ଇଟ୍ରିୟମ୍ର ବସ୍ତୁତ୍ବ} &< \text{ପ୍ରୋଟନ୍ର ବସ୍ତୁତ୍ବ} \\ &+ \text{ନିଉଟ୍ରନ୍ର ବସ୍ତୁତ୍ବ} \end{aligned}$$

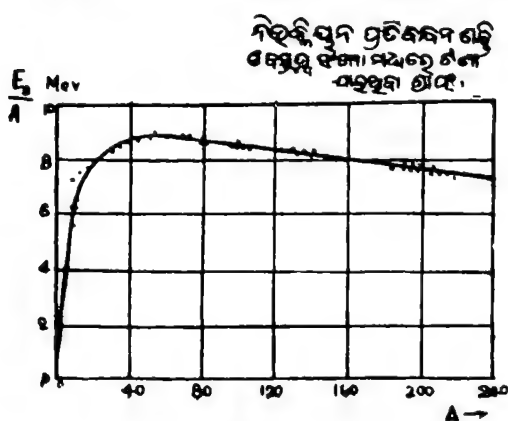
$$\begin{aligned} \text{ତେଣୁ } \Delta m &= m_D - m_p - m_n \\ &= 2.01486 - 1.007593 - 1.008982 \\ &= .002389 \text{ ଅ. ମା. ଇ.} \\ &= .002389 \times 931 = 2.225 \text{ ମି. ଇ. ଭୋ.} \end{aligned}$$

ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ର ମିଶ୍ରଣ ହେଲେ 2.22 ମି. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏ । ସେହି ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ଇଟ୍ରିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସରୁ ଏକ ନିଉଟ୍ରନ୍କୁ ବାହାର କରାଯାଇପାରେ । ଏହାକୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି (Binding energy) ଏବଂ ଯେଉଁ ବଳ ଦ୍ବାରା ପ୍ରୋଟନ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଏକାଠି ଥାଆନ୍ତି ତାହାକୁ ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳ କହନ୍ତି ।

ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳର ପ୍ରଭାବ ମାତ୍ର  $10^{-13}$  ସେ.ମି. ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଡ଼ିପାରେ । ଯଦି ଦୁଇଟି କଣିକାର ଦୂରତା  $1.4 \times 10^{-15}$  ମି. ହୁଏ, ତେବେ ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳର ପରିମାଣ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେବ । କିନ୍ତୁ ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ ଓ ଭୁଲମ୍ବ ବଳର ପ୍ରଭାବ ବହୁ ଦୂର ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଡ଼ିପାରେ ।

ନିଉକ୍ଲିୟନ୍ (Nucleon) ପ୍ରତିବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଓ ନିଉକ୍ଲିୟନ୍ ଫଳାଂ ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରାମ୍ ଅଙ୍କନ କଲେ ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳର ଅନ୍ୟ ଏକ ଧର୍ମ ଜାଣି ହୁଏ । ଗ୍ରାମ୍ରୁ ଜଣାଯାଏ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକୁ ଶ୍ଚଡ଼ିଦେଲେ  $E/A$  ର ପରିମାଣ ଯେ କୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ସମାନ (ଓସ (6.8) ଦେଖ) । ଏହା ଗ୍ରାମ୍

୫ ମି. ଇ. ଗୋ. ତେଣୁ  $EB \propto A$  । କିନ୍ତୁ କୁଲମ୍ବ ବଳ ପାଇଁ  $EB \propto A^2$  ।  
ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ତାର ଅତି ନିକଟରେ ଥିବା ଅନ୍ୟ ଏକ

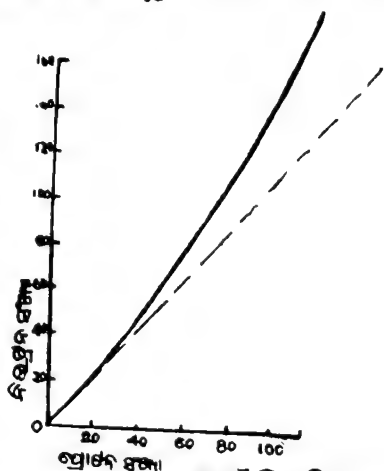


ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ସହଜତା ବଢ଼ାଇଥାଏ ଓ ଅନ୍ୟ ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ସଂଗଠିତ ହେବା ପ୍ରକ୍ରିୟା ତା' ଉପରେ ପଡ଼େ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଏକ ଗୁରୁତ୍ବ କଣିକା ତାର ନିକଟରେ ଥିବା ଅନ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୁରୁତ୍ବ କଣିକା ଦ୍ଵାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ । ବର୍ତ୍ତମାନ ମିଳୁଥିବା ସତ୍ୟରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ତା' ମଧ୍ୟରେ

ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ବଳ ନିଉଟ୍ରନ୍ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ବଳ ସହଜତା ସମାନ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଓ ପ୍ରୋଟନ୍ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବଳ ସହଜତା ସମାନ ।

ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଗଠନରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେଉଁ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ସଂଗଠିତ ହେଉଛି ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଯୁଗ୍ମ (Even) ସେଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାୟୀ କିନ୍ତୁ  $H^2$ ,  ${}^3Li$ ,  ${}^6B$ ,  ${}^{10}B$  ଏବଂ

${}^{14}N$  ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ସଂଗଠିତ ହେଉଛି ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଅଯୁଗ୍ମ (odd) ହେଲେ ମଧ୍ୟ ସେଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାୟୀ ଏବଂ ସେଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ସମାନ । ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ପ୍ରୋଟନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରାହ୍ୟ କାଟିଲେ ଜଣାଯାଏ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଓ ପ୍ରୋଟନ୍ର ଅନୁପାତ  $z$  ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବଢ଼ି ଚାଲିଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରୋଟନ୍ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିକର୍ଷଣ ବଳ ବଢ଼ି ଚାଲି ଯାହା ଦ୍ଵାରା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍



ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍  
ନିଉଟ୍ରନ୍ ଓ ପ୍ରୋଟନ୍ ସଂଖ୍ୟା  
ମଧ୍ୟରେ ଗଣନା କରାଯାଇଛି ।



ବାକ୍ସ ରଖିବା ପାଇଁ ଅଧିକ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦରକାର ହୁଏ । ତେଣୁ E/A ର ହାରାହାରି ପରିମାଣ କମିଯାଏ । (ଟିପ୍ପଣୀ (6.8) ଦେଖ)

## ୧୮ । ବିଭଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା (Fission Reaction)

1934 ମସିହାରେ ଫର୍ମି ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନେ ନିଉଟ୍ରନ୍ (Bombardment) ଦ୍ଵାରା ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ । ସେମାନେ ଇଉରାନିୟମ୍<sup>(92)</sup> ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ଵାରା ଫସ୍ଫୋରନ କରାଇ ଏକ ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ନେପ୍ଟୁନିୟମ୍ (Neptunium) 93 ସୃଷ୍ଟି କରିପାରିଥିଲେ । ଏହି ନେପ୍ଟୁନିୟମ୍<sup>(93)</sup> ଏକ  $\beta$  ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି ପ୍ଲୁଟୋନିୟମ୍ରେ (94) ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ । ଏହି ପ୍ଲୁଟୋନିୟମ୍ ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ପ୍ରାୟ 30,000 ବର୍ଷ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ସାହାଯ୍ୟରେ 1944 ରୁ 1950 ମଧ୍ୟରେ ଅନେକ-ଗୁଡ଼ିଏ ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇ ପାରିଲା । ସେଗୁଡ଼ିକ ହେଲା :

ନିଉକ୍ଲିୟସ ବା ପରମାଣୁର ନାମ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା
ଆମେରିସିୟମ୍ (Americium)	95
କ୍ୟୁରିୟମ୍ (Curium)	96
ବରକେଲିୟମ୍ (Berkelium)	97
କାଲିଫର୍ନିୟମ୍ (Californium)	98
ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନିୟମ୍ (Einsteinium)	99
ଫର୍ମିୟମ୍ (Formium)	100
ମେଣ୍ଡେଲିନିୟମ୍ (Mendelinium)	101
ନୋବେଲିୟମ୍ (Nobelium)	102

1939 ମସିହାରେ ହାନ (Hahn) ଓ ଷ୍ଟ୍ରାସମ୍ୟାନ୍ (Strasman) ଦେଖିଲେ ଯେ ଧୀରଗାମୀ (Slow) ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ଵାରା ବେଳେ ବେଳେ ଇଉରାନିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇ ଯାଉଛି । ଗୋଟିଏ ଭାଗ ହେଉଛି ଡେଲ୍ଟିୟମ୍ ବେରିୟମ୍ ( $_{56}\text{Ba}^{139}$ ) ଓ ଅନ୍ୟଟି  $_{36}\text{Kr}$  । ନାୟାର (Neir) ପରୀକ୍ଷା କରି ଜାଣି ପାରିଲେ  $_{93}\text{U}^{235}$  ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ଵାରା ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହେଉଛି । ଏହାକୁ ବିଭଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଗଲା । ଦେଖାଗଲା ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଦ୍ଵାରା ବହୁ ବସ୍ତୁର ବିନାଶ ହୋଇ ଶକ୍ତିର ଉତ୍ପତ୍ତି ହେଉଛି ।

ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଦ୍ଵାରା ପ୍ରାୟ ଦୁଇଟି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ଯଦିଓ ଧୀରଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ଵାରା ଇଉରାନିୟମ୍ (235) ର ବିଭଜନର ସଂଭାବନା ବେଶୀ ତଥାପି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ଵାରା ଇଉରାନିୟମ୍‌ର ବିଭଜନ ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ଥରେ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଆରମ୍ଭ ହେଲେ ତାହା ମନକୁ ବନ୍ଦ ହୁଏ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଇଉରାନିୟମ୍‌ର ପରିମାଣ କମିଗଲେ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଚାଲିପାରେ ନାହିଁ । କାରଣ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଇଉରାନିୟମ୍ ଭିତରୁ ବାହାରକୁ ଚାଲିଯାଏ । ପରୀକ୍ଷା କରି ଜଣା ଯାଇଛି ଯେ ଇଉରାନିୟମ୍ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣରୁ କମ୍ ହେଲେ ଚେନ୍‌ପ୍ରକ୍ରିୟା ଚାଲିପାରେ ନାହିଁ । ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣକୁ କ୍ରିଟିକାଲ (Critical) ବସ୍ତୁତ୍ଵ କୁହାଯାଏ ।

## ୧୯ । ନିଉକ୍ଲିୟାର ରିୟାକ୍ଟର

କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସ୍ଥାନ ଓ ଉପାୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟା କରାଗଲେ ତାହାକୁ ରିୟାକ୍ଟର (Reactor) କୁହାଯାଏ । ରିୟାକ୍ଟର ସାହାଯ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଇପାରେ, ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଗ୍ରହ କରାଯାଇପାରେ । ଶକ୍ତି ଉତ୍ପାଦନ କରିବା ପାଇଁ ରିୟାକ୍ଟର ଏପରି ହେବା ଦରକାର ଯେପରି ଲବଣଜନକ ହେବ । ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ବାହାରୁଥିବା ବିକିରଣ ଯତିକାରକ ହୋଇଥିବାରୁ ରିୟାକ୍ଟରକୁ ଛିରକୋନିୟମ୍ ଆବରଣ ଭିତରେ ରଖାଯାଏ । କାର୍ବଣ ଛିରକୋନିୟମ୍ ବହୁତ ଉତ୍ତପ୍ତ ଓ ବିକିରଣ ସହ୍ୟ କରିପାରେ ।

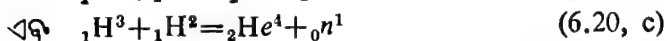
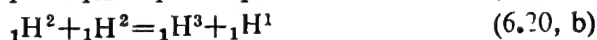
ଆମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଛୁ ଯେ ଇଉରାନିୟମ୍ ବିଭଜନ ପାଇଁ ଧୀରଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ବିଶେଷ ଉପଯୁକ୍ତ । ତେଣୁ ଧୀରଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ପାଇବା ପାଇଁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ରିୟାକ୍ଟର ଭିତରେ ଏକ ଗତି ନିୟନ୍ତ୍ରକ ପଦାର୍ଥ ରଖା ଯାଇଥାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ଭାରଜଳ ଓ ଗ୍ରାଫାଇଟ୍ ପ୍ରଧାନ ।

ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଥରେ ଆରମ୍ଭ ହେଲେ ତାହା ଆପେ ଆପେ ଚାଲି ଶାନ୍ତି । ତେଣୁ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ବେଗ କମାଇବା ପାଇଁ କ୍ୟାଡମିୟମ୍ ଛତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । କାରଣ କ୍ୟାଡମିୟମ୍ ଛତ୍ର ନିଉଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକୁ ଶୋଷଣ କରିନିଏ । ଏହି ଛତ୍ରଗୁଡ଼ିକ ରିୟାକ୍ଟର ଭିତରେ ସଫୁର୍ଣ୍ଣ ରୂପେ ପୂରାଇ ଦେଲେ ପ୍ରକ୍ରିୟା ବନ୍ଦ ହୋଇଯାଏ ।

ବିୟାଳୁର ଭିତରୁ ଶକ୍ତି ଫଗ୍ନତା କରିବା ପାଇଁ ତରଳ ବିୟା ଗ୍ୟାସୀୟ ପଦାର୍ଥ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ସବୁଠାରୁ ସହଜ ଉପାୟରେ ବିୟାଳୁର ଭିତରେ ପାଣିକୁ ବାଷ୍ପ କରି ତାହା ସାହାଯ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଇପାରେ ।

## ୨୦ । ପୁଞ୍ଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ( Fusion reaction )

ଅମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଛୁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସର  $10^{-13}$  ସେ:ମି: ଦୂରରେ ପହଞ୍ଚେ, ତେବେ କଣିକାଟି ଆସେ ଆସେ ଟାଣି ହୋଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରକୁ ଚାଲିଯାଏ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ଏହି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିଠାରୁ ବେଶୀ । କିନ୍ତୁ ଦୁଇଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରତାଠାରୁ ଦୂରରେ ଥିଲେ କୁଲମ୍ବ ବିକିରଣ ବଳ ଯୋଗୁ ପରସ୍ପର ନିକଟକୁ ଯାଇପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ନିଉକ୍ଲିୟସ, ବିକିରଣ ଶକ୍ତିକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ଅନ୍ୟ ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ  $10^{-13}$  ସେ:ମି: ପାଖରେ ପହଞ୍ଚେ, ତେବେ ତାହା ଆସେ ଆସେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଆଡ଼କୁ ଟାଣି ହୋଇଯାଏ । ଫଳରେ ଦୁଇଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ମିଳି ଅନ୍ୟ ଏକ ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ପରିଣତ ହୋଇ ଯାଆନ୍ତି । ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ସାଧାରଣତଃ ଛେଟ ଛେଟ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ଵାରା ହୋଇପାରେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ଵରୂପ—



ଏହି ପ୍ରକାର ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରେ ଦୁଇଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ମିଶି ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ପରିଣତ ହେଉଥିବାରୁ ଏହାକୁ ପୁଞ୍ଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା କହନ୍ତି ।

ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକର ବିଶେଷତ୍ଵ ହେଲା ଯେ ଦୁଇଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଏକାଠି ମିଶିଯିବା ସମୟରେ କିଛି ବସ୍ତୁର ବିନାଶ ହୋଇ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ଵରୂପ (6.20, b) ସମୀକରଣରେ ବିନାଶ ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁର ପରିମାଣ ଯଦି  $\Delta m$  ହୁଏ, ତେବେ

$$\Delta m = 2 \times 2.015 - (3.017 + 1.008)$$

$$= .005 \text{ ଅ. ମା. ଭ.}$$

$$=.005 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ ଗ୍ରାମ୍}$$

$$\Delta E = .005 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 3 \times 3 \times 10^{20} \text{ ଅର୍ଗ}$$

ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ଇଉଟ୍ରିୟମରେ ପ୍ରାୟ  $\frac{.5 \times 10^{24}}{1.66}$  ଟି ପରମାଣୁ ଥାଏ । ଏଣୁ

ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ଇଉଟ୍ରିୟମ୍ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହେଲେ, ଅମେ ପାଉଁ

$$E = \frac{.045 \times 10^{20} \times 1.66 \times 10^{-24} \times .5}{1.66 \times 10^{-24} \times 2}$$

$$= 1.13 \times 10^{18} \text{ ଅର୍ଗ} = 1.13 \times 10^{11} \text{ ଯୁଲ୍ ।}$$

ଏହି ପ୍ରକାର ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ଦ୍ଵାରା ସୂର୍ଯ୍ୟ ଦେହରେ ପ୍ରବୃତ୍ତ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛି । ଅମ୍ଳେମାନେ ତାହା ଉତ୍ସାହ ଓ ଆଲୋକ ଆକାରରେ ପାଉଁ । ଆଉଟ୍ରିୟମ ନିସ୍ସମାନଙ୍କଠାରୁ ଅମେ ଯେଉଁ ଆଲୋକ ପାଉଁ, ତାହା ମଧ୍ୟ ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ଅମେ ପ୍ରବୃତ୍ତ ଶକ୍ତି ପାଇ ପାରିବା ।

ଅମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଛୁ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଅନ୍ୟ ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଦେହରେ ବାଧା ପାଇଲେ ଫ୍ୟୁଜନ ହୋଇ ପାରିବ । କିନ୍ତୁ ଏପରି ଉପାୟ ଉପଯୁକ୍ତ ନୁହେଁ । କାରଣ ଗୋଟିଏ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିବା ପାଇଁ ଯେତେ ଶକ୍ତି ଦରକାର ସେ ପ୍ରୋଟନ୍ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଦ୍ଵାରା ହେଉଥିବା ଫ୍ୟୁଜନରୁ ସେତେ ଶକ୍ତି ମିଳିପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏହି ଉପାୟରେ ଶକ୍ତି ସଂଗ୍ରହ କରିବା ଅସମ୍ଭବ ।

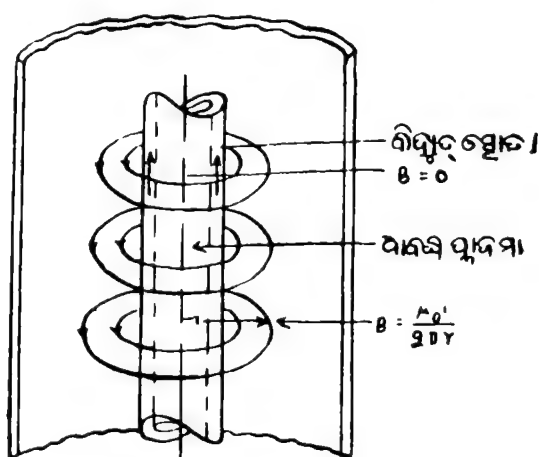
ଉଦ୍‌ଜାନ ଓ ହିଲିୟମ୍ ସାଧାରଣ ତାପମାତ୍ରାରେ ଗ୍ୟାସୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଆନ୍ତି । ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଦ୍ଵାରାଦ୍ଵାର ବେଗ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହୋଇ ଥିବାରୁ ସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଫ୍ୟୁଜନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଆବଦ୍ଧ ଉଦ୍‌ଜାନ କିମ୍ବା ହିଲିୟମ୍ ଗ୍ୟାସର ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପରମାଣୁ-ଗୁଡ଼ିକର ହରାହାରି ବେଗ ବଢ଼ିଯାଏ ଓ ଫ୍ୟୁଜନର ସମ୍ଭାବନା ମଧ୍ୟ ବଢ଼ିଯାଏ । ହିସାବରୁ ଜଣାଯାଏ  $18^{\circ}\text{C}$  ତାପମାତ୍ରାରେ ଇଉଟ୍ରିୟମ୍ ଫ୍ୟୁଜନ ପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ । କିନ୍ତୁ ଏତେ ତାପମାତ୍ରା ସୃଷ୍ଟି କରିବା କଷ୍ଟସାଧ୍ୟ ଓ ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ ଇଉଟ୍ରିୟମ୍ ପୃଥ୍ଵୀର କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ଦ୍ଵାରା ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହି ପାରିବ ନାହିଁ । କାରଣ ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପଦାର୍ଥ ତାହାର ଚତୁର୍ଥ ଅବସ୍ଥାରେ ରହେ । ଏହାକୁ ପ୍ଲାଜମା କହନ୍ତି ।

ସାଧାରଣତଃ ଯେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ଇନୋଟ୍ ଅବସ୍ଥାରେ ରହୁଥିବାରେ ଯଥା—କଠିନ, ତରଳ ଓ ଗ୍ୟାସୀୟ । କୌଣସି ଗ୍ୟାସୀୟ ପଦାର୍ଥର ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିଲେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁର ଗତି ଶକ୍ତି (kinetic energy) ଓ ଅନ୍ତର୍ଗତ ଶକ୍ତି (Internal Energy) ବଢ଼େ । ତାପମାତ୍ରା ଅତ୍ୟଧିକ ହେଲେ ଗୋଟିଏ କ୍ୱମ୍ କେତୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ଅଲଗା ହୋଇଯାଇ ସ୍ୱାଧୀନ ଭାବରେ ଚାଲିଯାଏ । ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ ପଦାର୍ଥର ଚତୁର୍ଥ ଅବସ୍ଥା ବା ପ୍ଲାଜମା କହନ୍ତି ।

ପୁଞ୍ଜନ ପ୍ରତିଫିୟାରୁ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିର ଶାନ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣ ବିନିଯୋଗ କରିବା ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ହେଲା ଇଉଟ୍ରିୟମ୍ ପ୍ଲାଜମାକୁ ଅବଦ୍ଧ ରଖିବା, ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ଦ୍ୱାରା ପ୍ଲାଜମାକୁ ଅବଦ୍ଧ କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଯେ କୌଣସି ପ୍ରକାରରେ ପ୍ଲାଜମା କଣାଗୁଡ଼ିକ କାନ୍ଥଠାରୁ ଦୂରରେ ରଖିବାକୁ ପଡ଼ିବ ।

ଗୋଟିଏ ଅବଦ୍ଧ ସିଲିଣ୍ଡ୍ରିକାଲ (cylindrical) ପାତ୍ରର ଦୁଇପାଖରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପାତ୍ରର ଯୋଗୁଁ ପ୍ଲାଜମା କଣାଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗରେ ଚଳି କରିବାକୁ ଲାଗିବେ । ଏହା ଏକ ଦିଗରେ ପ୍ରବାହୀତ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ସ୍ରୋତ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିବା ହେତୁ ସ୍ରୋତ-ଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରକୁ ଆକର୍ଷଣ କରିବେ । ଫଳରେ ଇଉଟ୍ରିୟମ୍ ପ୍ଲାଜମା ପାତ୍ରର ମଝି ଆଡ଼କୁ ଟାଣି ହୋଇ ଆସିବ ଓ କାନ୍ଥରୁ ଗୁଡ଼ି ଯିବ । କିନ୍ତୁ ପ୍ଲାଜମାଟି ନିମ୍ନେ ଦିଆଯାଇଥିବା ପରି ସବୁ ହୋଇ ଶୁଦ୍ଧ ଯିବ ଓ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରବାହ ବନ୍ଦ ହୋଇଯିବ । ତେଣୁ ପ୍ଲାଜମା ଆଉ ଅବଦ୍ଧ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ଏହାକୁ ପିନ୍ଚ୍ ପ୍ରଭାବ (Pinch effect) କହନ୍ତି । ଯଦି ଗୋଟିଏ ତୁମ୍ବକ ସେହି ବିଦ୍ୟୁତ୍ ସ୍ରୋତ ସହଜ ସମାନ୍ତର କରି ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ଏହି ପ୍ଲାଜମା ବେଶୀ ସମୟ ଅବଦ୍ଧ ହୋଇପାରେ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ହେଲା ଯେ ପ୍ଲାଜମା କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଦୂର ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନ୍ ଫ୍ଲକ୍ସରେ ଆସେ । ଏହା ଫଳରେ ପ୍ଲାଜମା ଥଣ୍ଡା ହୋଇଥାଏ ଓ ତାପମାତ୍ରା ବେଶୀ ହେଲେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନ୍ ଦୁର୍ଲ୍ଲଭ ଗ୍ୟାସ୍ ହୋଇ ଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ । ଏହି ଅସୁବିଧାକୁ ଦୂର କରିବା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାକାର ନଳାରେ ଇଉଟ୍ରିୟମ୍ ରଖି ଦୂର ବିସମତ ପାଖରେ ନଳା ଉପରେ ଗୁଡ଼ା ହୋଇଥିବା ତାର ଦେହରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଦ୍ୟୁତ୍

ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହତ କଲେ ନଳା ଭିତରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିଦ୍ୟୁତ ସେକ୍ସ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ ସେକ୍ସ ଯୋଗୁ ପ୍ଲାଜମା କଣାଗୁଡ଼ିକ ନଳା ଭିତରେ



ପ୍ଲାଜମାରେ ପିନ୍ ପ୍ରଭାବ

ଚିତ୍ର (6.10)

ବୁଦ୍ଧିକାରରେ ବୁଲିବାକୁ ଲାଗିବେ । ତାପମାତ୍ରା ଯେତେ ବେଶୀ ହେବ, ଏହି କଣାଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ସେତେ ବେଶୀ ହେବ । ଏହି ମୂଳ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଭିତ୍ତି କରି ଇଂଲଣ୍ଡରେ ଗୋଟିଏ ପୁଂଜନ ବିୟାଙ୍କର ତିଆରି କରାଯାଇଥିଲା । ଏହାର ନାମ ଜିଟା (ZETA) ।

ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଯୁକ୍ତ କଣାଗୁଡ଼ିକ ସହଜରେ ରୁମ୍ବକ ସେକ୍ସକୁ ଅଭିନ୍ନ କରି ଯାଇ ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଭିତ୍ତି କରି ରୁମ୍ବକ ସେକ୍ସ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତୁଷ୍ଟମୁଖ ପ୍ଲାଜମାକୁ ଅବଦ୍ଧ କରିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରାଯାଉଛି । ଏଥିପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାରର ରୁମ୍ବକ ସେକ୍ସ ଦରକାର । ଏହି ସେକ୍ସର ଆକୃତି ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ା ବୋତଲ ପରି ହୋଇଥିବାରୁ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀକୁ ରୁମ୍ବକ ବୋତଲ ଭିତରେ ପ୍ଲାଜମା ଅବଦ୍ଧ ପ୍ରଣାଳୀ କହନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ପ୍ରକୃତ କାର୍ଯ୍ୟ ସେକ୍ସରେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଦ୍ୱାରା ପ୍ଲାଜମାକୁ ବେଶୀ ସମୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅବଦ୍ଧ କରାଯାଇ ପାରୁ ନାହିଁ । ପୃଥିବୀର ସବୁ ଦେଶରେ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପ୍ଲାଜମାକୁ ଅବଦ୍ଧ କରିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରୁଛନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ଏ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସେମାନେ ସଫୁର୍ତ୍ତ ସଫଳ ହୋଇ ପାରି ନାହାନ୍ତି ।

## ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁ କାହାକୁ କୁହାଯାଏ ?
2. ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁରୁ ବିକିରଣ ହେଉଥିବା ବିକିରଣଗୁଡ଼ିକୁ କିପରି ଭାବେ ଚିହ୍ନି ହୁଏ ?
3. କିପରି ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ସ୍ବଲୟମ, ନିଉକ୍ଲିୟସ  $\beta$  ରଶ୍ମି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଓ  $\gamma$  ରଶ୍ମି ବିଦ୍ୟୁତ ରୁମ୍ବଳାୟ ଡରଙ୍ଗ ବ୍ୟତୀତ କିଛି ନୁହେଁ ?
4. ଗୋଟିଏ  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ବେଗ  $2 \times 10^8$  ସେ.ମି./ସେକେଣ୍ଡ ହେଲେ, ତାହାର ଶକ୍ତିର ପରମାଣୁକୁ ଅର୍ଗ ଓ ଇ. ଭୋ. ରେ ପ୍ରକାଶ କର । ( $13.28 \times 10^{-6}$  ଅର୍ଗ,  $8.29$  ମି. ଇ. ଭୋ.)
5. ଯଦି ଗୋଟିଏ  $\beta$  ରଶ୍ମିର ବେଗ  $0.9 C$  ହୁଏ, ତେବେ ତାହାର ଗତି ଶକ୍ତିକୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଭୋଲ୍ଟରେ ପ୍ରକାଶ କର ।

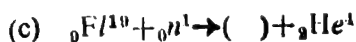
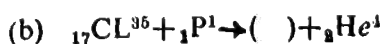
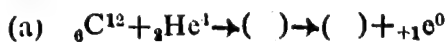
$$\left( Ek = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - m_0 c^2 \right)$$

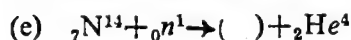
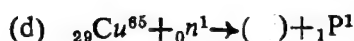
6. ଗୋଟିଏ ରେଡ଼ିଓ ଅକଟିର ପଦାର୍ଥ ମିଶ୍ରିତ ଥିବା ଶିଳାର ବୟସ କିପରି ମାପି ହୁଏ ? ପୃଥିବୀର ବୟସ କିପରି 1600 ମିଲିୟନ ବର୍ଷରୁ କମ୍ ନୁହେଁ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ ?
7.  $2 \times 10^{10}$  ସେ.ମି. ବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ  $\alpha$  ରଶ୍ମିକୁ ଗୋଲକାର ପଥରେ ନେବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ରୁମ୍ବଳ ଶେଷର ପରମାଣ କେତେ ? (ଗୋଲକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ 30 ସେ.ମି.)
8. ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରୋଟନ୍ ତୁଳନାରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ  $\alpha$  ରଶ୍ମି ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୁଏ କାହିଁକି ?
9. ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ କାହିଁକି ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକା ପ୍ରସ୍ତୁତ କରି ହୁଏ ନାହିଁ ? ଏହା ସତ୍ୟତା ଶକ୍ତିର ସୀମା କେତେ ?
10. ହାଲୁକା ପରମାଣୁ ତୁଳନାରେ କାହିଁକି ଭାରି ପରମାଣୁ ହାଲୁକା ପରମାଣୁର ବିଘଟନ କରାଇବା କଷ୍ଟକର ?
11. କେଉଁ ତେଜସ୍ବିୟ ବିକିରଣ ଅସ୍ବଳ ପରମାଣ ଅସ୍ବଳୀକରଣ କରିପାରେ ଓ କାହିଁକି ?

12. ପ୍ରଥମେ କଲ୍ପନା କରାଯାଇଥିଲା ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ କେତେକ ସଂଖ୍ୟକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁକୁ ନେଇ ଗଠିତ । ଏହି କଲ୍ପନା କାର୍ଯ୍ୟକ୍ଷମ ଠିକ୍ ହେବ ?
13. ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ କିପରି କ'ଣ ବୁଝାଯାଏ ?
14. ପ୍ରାକୃତିକ ରେଡ଼ିଓ ଆକର୍ଷିତ ଶ୍ରେଣୀ କାହାକୁ କହନ୍ତି ଓ ଏହାର ବିଶେଷତ୍ବ କ'ଣ ?
15. କେତେକ ପ୍ରକାରର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଫଳରେ ପ୍ରଚୁର ଶକ୍ତି କାର୍ଯ୍ୟକ୍ଷମ ମିଳିଥାଏ ?
16. କେଉଁ ପଦାର୍ଥ ଦ୍ବାରା ବିପରି ନିଉଟ୍ରନ୍ର ଉତ୍ପାଦନ କରାଗଲା ?
17. କେଉଁ ପଦାର୍ଥ ଦ୍ବାରା ଓ ବିପରି ପଜିଟ୍ରନ୍ର ଉତ୍ପାଦନ କରାଗଲା ?
18. ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା କାହାକୁ କହନ୍ତି ? ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ପ୍ରଚୁର ଶକ୍ତି କାର୍ଯ୍ୟକ୍ଷମ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏ ?
19. ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା କାହାକୁ କହନ୍ତି ? ଏହାର ଉପାଦେୟତା କ'ଣ ?
20. ଗୋଟିଏ ଖୁର୍ଦ୍ଧା କଣିକା  $.01$  ଡିଗ୍ରୀ ସେଣ୍ଟିଗ୍ରାଡ୍ ବର/ସି.<sup>3</sup> ବୁଲୁଥିବା ସେହି ଦ୍ବାରା  $13.5$  ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଲକାର ପଥରେ ବୁଲୁଥିଲା । କଣିକାର ବେଗ  $.8C$  ହୁଏ, ତେବେ କଣିକାର ଖୁର୍ଦ୍ଧା ପରିମାଣ କେତେ ଓ ତାହା କି କଣିକା ?
21. ରେଡ଼ିୟମ୍ ଦ୍ବାରାଦ୍ବାରା ବର୍ଷକୁ ଶତକଡ଼ା  $.045$  କ୍ଷୟ ହୁଏ, ତେବେ ଦିନକେ 1 ଗ୍ରାମ୍ ରେଡ଼ିୟମ୍ରୁ କେତୋଟି  $\alpha$  ରଶ୍ମିର ନିର୍ଗତ ହେବ ?
 
$$\left[ .045 = 10e^{-\lambda 365} \text{ ଏବଂ } n = \frac{m}{4 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ କେ.ଜି.}} = e^{-\lambda} \right]$$
22. ରେଡ଼ିୟମ୍ରୁ ପରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ବ  $224$  ଓ ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା  $88$  ଏବଂ ଏହା  $\alpha$  ରଶ୍ମି ନିର୍ଗତ କରୁଥିବା ବେଳେ, ଏହାକୁ ସମୀକରଣରେ ପ୍ରକାଶ କର ।
23. ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍ବିୟ ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ବ  $218$  ଓ ସଂଖ୍ୟା  $84$  ଏବଂ ପରମାଣୁଟି  $\alpha$  ରଶ୍ମି ନିର୍ଗତ କରୁଥିବା ବେଳେ, ନୂତନ ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ବ ଓ ସଂଖ୍ୟା କେତେ ?



24. ଥୋରିୟମ୍‌ର ନିଉଟ୍ରନ୍ ଯୋଗୁ 6 ଟ ୧ ରଶ୍ମି ଓ 4 ଟ ୨ ରଶ୍ମି ନିର୍ଗତ ହେଲେ, ନୂତନ ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଫ୍ଳାସ୍ କେତେ ?
25. ଏକ ଲିଥମ୍‌ର ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଏକ ପ୍ରୋଟନ୍‌କୁ ଶୋଷଣ କରି ସମାନ ଦ୍ରୁତ ଗତିରେ ଗତିକ୍ରମ ହେଲା, ଯଦି ଲିଥମ୍‌ର ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ 7 ଓ ପାରମାଣବିକ ଫ୍ଳାସ୍ 3 ହୁଏ, ତେବେ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ପାରମାଣବିକ ଫ୍ଳାସ୍ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେତେ ?
26. ଯଦି ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ୍ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଓ ପଜିଟ୍ରନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରି ଅଦୃଶ୍ୟ ହୋଇଯାଏ, ତେବେ ଫୋଟନ୍‌ର ଶକ୍ତି ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହଜ ସମାନ ନୁହେଁ କି ? ଯଦି ନୁହେଁ, ତେବେ କାହିଁକି ?
27. ଏକ ଡେକ୍ସିମ୍‌ର ପଦାର୍ଥର ଆକ୍ଟିଭିଟି (Activity) .01 ରୁ .003 କିଉରି (curie) କୁ 60 ଦିନରେ କମିଗଲା । ପଦାର୍ଥର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଲ କେତେ ? (35 ଦିନ)
28. ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ଗୋଲକାର ପଥରେ ଗତି କରୁଥିବା ଏକ ଚାର୍ଜ କଣିକାର ଗତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ  $\frac{(qBr)^2}{2m}$  ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କର । ( $q$ = କଣିକାର ଚାର୍ଜ,  $r$ =ଗୋଲକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ,  $m$ =କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏବଂ  $B$ =ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର )
29. ଯଦି ଥୋରିୟମ୍‌ର  ${}_{90}\text{Th}^{234}$  ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଲ 24.1 ଦିନ ହୁଏ, ତେବେ କେତେ ଦିନ ପରେ ନିଶ୍ଚିତ ଥୋରିୟମ୍ ଶତକଡ଼ା 90 ଭାଗ ପ୍ରୋଟାକ୍ଟିନ୍ ନିୟମ ( ${}_{81}\text{Pa}^{234}$ ) ରେ ପରିଣତ ହେବ ? (80 ଦିନ)
30. ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ୍ 1.00 ଓଡ଼ିଏବର/ମିଟର)<sup>3</sup> ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା 0.635 ମିଟର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଲକାର ପଥରେ ଗତି କରୁଛି । ତାହାର ଗତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ କେତେ ? (19 ମି. ଇ. ଭୋ.)
31. ନିମ୍ନଲିଖିତ ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରତିକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକରେ ଥିବା ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନ ପୂରଣ କର :—





32. ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଓ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ୍ ମିଶି ଗୋଟିଏ ଫୋଟନରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ଫୋଟନର ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ଅବୃତ୍ତର ପରିମାଣ କେତେ ? ଏହା ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ଅବୃତ୍ତଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇ ପାରେ କି ? ଯଦି ହୋଇପାରେ, ତେବେ କାହିଁକି ?
33. ଯଦି ଏକ ବିଭାଜନ (Fission) ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବସ୍ତୁତ୍ତ୍ୱ ହ୍ରାସର ପରିମାଣ ଶତକଡ଼ା .05 ହୁଏ, ତେବେ 1 K. G. ପଦାର୍ଥରୁ ବିଭାଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ କେତେ ଶକ୍ତି ମିଳିବ ? ( $.45 \times 10^{13}$  ଯୁଲ୍)
34. ଯଦି  ${}^{235}\text{U}$ ର ବିଭାଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଯୋଗୁ 300 ମି. ଇ. ଗ୍ରା. ର ଶକ୍ତି ମିଳେ, ତେବେ କେତେ ପରିମାଣର ବସ୍ତୁତ୍ତ୍ୱ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହେଲା ? (0.331 ଅ. ମା. ଭ.)
35. ଯଦି ଦୁଇଟି ଇଉରାନିୟମ୍ ମିଶି ଏକ ପ୍ଲୁଟିନିୟମ୍ ପରିମାଣରେ ପରିଣତ ହେବା ସମୟରେ ଶତକଡ଼ା 0.7 ଭାଗ ବସ୍ତୁତ୍ତ୍ୱ ହ୍ରାସ ହୁଏ, ତେବେ 1 କେ. ଗ୍ରା. ଇଉରାନିୟମ୍‌ରୁ କେତେ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ ?
36. ଯଦି 3 ଟି ପ୍ଲୁଟିନିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମିଶି ଏକ କାରବନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ କେତେ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ ?  
(ପ୍ଲୁଟିନିୟମ୍—4.003 ଅ. ମା. ଭ.)  
(କାରବନ୍—12.01 ଅ. ମା. ଭ.) (1.8 ମି. ଇ. ଗ୍ରା.)

## ପରିଶିଷ୍ଟ

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବକ ଓଜନ
ଉଦଜାନ (Hydrogen)	H	1	1.0080
ହିଲିୟମ୍ (Helium)	He	2	4.003
ଲିଥିୟମ୍ (Lithium)	Li	3	6.940
ବେରିଲିୟମ୍ (Beryllium)	Be	4	9.013
ବୋରନ୍ (Boron)	B	5	10.82
ଅଙ୍ଗାର (Carbon)	C	6	12.010
ଯବକ୍ଷାରଜାନ (Nitrogen)	N	7	14.008
ଅମ୍ଳଜାନ (Oxygen)	O	8	16
ଫ୍ଲୁରିନ୍ (Fluorine)	F	9	19.00
ନିୟନ୍ (Neon)	Ne	10	20.183
ସୋଡ଼ିୟମ୍ (Sodium)	Na	11	22.997
ମାଗ୍ନେସିୟମ୍ (Magnesium)	Mg	12	24.32
ଅଲୁମିନିଅମ୍ (Aluminium)	Al	13	26.97
ସିଲିକନ୍ (Silicon)	Si	14	28.09
ଫସଫରସ୍ (Phosphorus)	P	15	30.98
ଗନ୍ଧକ (Sulphur)	S	16	32.06
କ୍ଲୋରିନ୍ (Chlorine)	Cl	17	35.457
ଅରଗନ୍ (Argon)	A	18	39.944
ପୋଟାସିଅମ୍ (Potassium)	K	19	39.096
କାଲସିଅମ୍ (Calcium)	Ca	20	40.08
ସ୍କାଣ୍ଡିଅମ୍ (Scandium)	Sc	21	45.10
ଟିଟାନିୟମ୍ (Titanium)	Ti	22	47.90
ଭାନାଡ଼ିୟମ୍ (Vanadium)	V	23	50.95
କ୍ରୋମିୟମ୍ (Chromium)	Cr	24	52.01

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବିକ ଓଜନ
ମାଙ୍ଗାନିଜ୍ (Manganese)	Mn	25	54.94
ଲୌହ (Iron)	Fe	26	55.85
କୋବାଲ୍ଟ (Cobalt)	Co	27	58.69
ନିକେଲ (Nickel)	Ni	28	58.71
ତମ୍ବା (Copper)	Cu	29	63.57
ଜିଙ୍କ୍ (Zinc)	Zn	30	65.38
ଗାଲିୟମ୍ (Gallium)	Ga	31	69.72
ଜର୍ମାନିୟମ୍ (Germanium)	Ge	32	72.60
ଆରସେନିକ୍ (Arsenic)	As	33	74.91
ସେଲେନିୟମ୍ (Selenium)	Se	34	78.96
ବ୍ରୋମିନ୍ (Bromine)	Br	35	79.916
କ୍ରିପ୍ଟନ୍ (Krypton)	Kr	36	83.70
ରୁବିଡିୟମ୍ (Rubidium)	Rb	37	85.48
ଷ୍ଟ୍ରୋନ୍ଟିୟମ୍ (Strontium)	Sr	38	87.63
ଇଟ୍ରିୟମ୍ (Yttrium)	Y	39	88.92
ଜିରକୋନିୟମ୍ (Zirconium)	Zr	40	91.22
ନିଓବିୟମ୍ (Niobium)	Nb	41	92.91
ମଲିବ୍ଡେନମ୍ (Molybdenum)	Mo	42	95.95
ଟେକନେଟିୟମ୍ (Technetium)	Tc	43	99
ରୁଥେନିୟମ୍ (Ruthenium)	Ru	44	101.7
ରୋଡିୟମ୍ (Rhodium)	Rh	45	102.91
ପାଲ୍ଲାଡିୟମ୍ (Palladium)	Pd	46	106.71
ରୂପା (ସିଲଭର) (Silver)	Ag	47	107.880
କାଡମିୟମ୍ (Cadmium)	Cd	48	112.41
ଇଣ୍ଡିୟମ୍ (Indium)	In	49	114.76
ଟିନ୍ (Tin)	Sn	50	118.70

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବିକ ଓଜନ
ଏଣ୍ଟିମନି (Antimony)	Sb	51	121.76
ଟେଲୁରିୟମ୍ (Tellurium)	Te	52	127.61
ଆୟୋଡିନ୍ (Iodine)	I	53	126.92
କ୍ସେନନ୍ (Xenon)	Xe	54	131.30
ସେସିୟମ୍ (Cesium)	Cs	55	132.91
ବେରିୟମ୍ (Berium)	Ba	56	137.36
ଲ୍ୟାନ୍ଥାନମ୍ (Lanthanum)	La	57	138.92
ସେରିୟମ୍ (Cerium)	Ce	58	140.13
ପ୍ରାସିଓଡିମିୟମ୍ (Praesodymium)	Pr	59	140.92
ନିଓଡିମିୟମ୍ (Neodymium)	Nd	60	144.27
ପ୍ରମେଥିୟମ୍ (Promethium)	Pm	61	145
ସାମେରିୟମ୍ (Samarium)	Sm	62	150.43
ଇଉରୋପିୟମ୍ (Europium)	Eu	63	152.0
ଗାଡୋଲିନିୟମ୍ (Gadolinium)	Gd	64	156.9
ଟେବିୟମ୍ (Tebium)	Tb	65	158.93
ଡିସପ୍ରୋସିୟମ୍ (Dysprosium)	Dy	66	162.46
ହୋଲମିୟମ୍ (Holmium)	Ho	67	164.94
ଏରବିୟମ୍ (Erbium)	Er	68	167.2
ଥୁଲିୟମ୍ (Thulium)	Tu	69	169.4
ଇଟର୍ବିୟମ୍ (Ytterbium)	Yb	70	173.04
ଲୁଟେସିୟମ୍ (Lutecium)	Lu	71	174.99
ହାଫନିୟମ୍ (Hafnium)	Hf	72	178.60
ଟାଣ୍ଟାଲମ୍ (Tantalum)	Ta	73	180.88
ଟଙ୍ଗଷ୍ଟେନ୍ (Tungsten)	W	74	183.92
ରେନିୟମ୍ (Rhenium)	Re	75	186.31
ଅସମିୟମ୍ (Osmium)	Os	76	190.2

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବିକ ଓଜନ
ଇରିଡିୟମ୍ (Iridium)	Ir	77	193.1
ପ୍ଲାଟିନମ୍ (Platinum)	Pt	78	195.23
ସୁନା (Gold)	Au	79	197.2
ପାଚ (Mercury)	Hg	80	200.61
ଥେଲୁରିୟମ୍ (Thallium)	Tl	81	204.39
ସୀସା (Lead)	Pb	82	207.21
ବିଷମଥ୍ (Bismuth)	Bi	83	209.00
ପୋଲୋନିୟମ୍ (Polonium)	Po	84	210
ଆସଟେଟିନ୍ (Astatine)	At	85	[210]
ରେଡନ୍ (Radon)	Rn	86	222
ଫ୍ରାନ୍ସିୟମ୍ (Francium)	Fr	87	[223]
ରେଡିୟମ୍ (Radium)	Ra	88	226.05
ଆକ୍ଟିନିୟମ୍ (Actinium)	Ac	89	227
ଥୋରିୟମ୍ (Thorium)	Th	90	232.12
ପ୍ରୋଟାକ୍ଟିନିୟମ୍ (Protactinium)	Pa	91	231
ଇଉରେନିୟମ୍ (Uranium)	U	92	238.07
ନେପ୍ଟୁନିୟମ୍ (Neptunium)	Np	93	[237]
ପ୍ଲୁଟୋନିୟମ୍ (Plutonium)	Pu	94	[239]
ଆମେରିସିୟମ୍ (Americium)	Am	95	[243]
କ୍ୟୁରିୟମ୍ (Curium)	Cm	96	[245]
ବରକେଲିୟମ୍ (Berkelium)	Bk	97	[249]
କାଲିଫୋର୍ନିୟମ୍ (Californium)	Cf	98	[249]
ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନିୟମ୍ (Einsteinium)	E	99	[255]
ଫର୍ମିୟମ୍ (Fermium)	Fm	100	255
ମେଣ୍ଡେଲିଭିୟମ୍ (Mendelevium)	Mv	101	[256]
ନୋବେଲିୟମ୍ (Nobelium)	No	102	253

## କେତେକ ଭୌତିକ ଧ୍ରୁବଙ୍କର ପରିମାଣ

ମହାକର୍ଷଣୀୟ ତ୍ୱରଣ (Accelaration due to gravity)	$g=9.80665$ ମି/ସେ <sup>2</sup>
ଜଳର ସାନ୍ଦ୍ରତା, ଉଚ୍ଚତମ (Maximum Density of Water)	$=.999972 \times 10^3$ କି:ଗ୍ରା:/ମି <sup>3</sup>
ପାରଦର ସାନ୍ଦ୍ରତା (Density of Mercury)	$=13.5950 \times 10^3$ କି:ଗ୍ରା:/ମି <sup>3</sup>
ସାଧାରଣ ବାୟୁଶୁଦ୍ଧ (Normal Atmospheric pressure)	$=760.00$ ମି.ମି., ପାରଦ
ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଧ୍ରୁବଙ୍କ (Gravitational Constant)	$=6.670 \times 10^{-11}$ କିଗ୍ରାଟନ ମି <sup>2</sup> /କି:ଗ୍ରା.: <sup>2</sup>
ଅଭଗାତ୍ମକ ସଂଖ୍ୟା (Avogadro's number)	$=6.02486 \times 10^{26}$ କି:ଗ୍ରା:-ମୋଲ
ଅଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ଧ୍ରୁବଙ୍କ (Ideal Gas Constant)	$=8316.96$ ଯୁଲ/ କି:ଗ୍ରା: (ମୋଲ)/K°
ବୋଲ୍ଡମ୍ୟାନଙ୍କ ଧ୍ରୁବଙ୍କ (Boldman's Constant)	$=R_o / N_o$ $=1.38042 \times 10^{-23}$ ଯୁଲ/K° $=8.6164$ ଇ:ଭୋ:/K°
ଅଲୋକର ପରିବେଗ (ଶୂନ୍ୟତା) Speed of light (Free space)	$=2.997930 \times 10^8$ ମି/ସେ
ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଚାର୍ଜ (Charge of an Electron)	$=160206 \times 10^{-19}$ କୁଲମ୍ବ
ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଚାର୍ଜ ଏବଂ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ (Charge to Mass ratio of Electron)	$=1.75890 \times 10^{11}$ କୁଲମ୍ବ/କି:ଗ୍ରା.:
ଫାରାଡ଼େଙ୍କ ଧ୍ରୁବଙ୍କ (Faraday's Constant)	$=9.65219 \times 10^7$ କୁଲମ୍ବ/କି:ଗ୍ରା: (ମୋଲ)

ପ୍ଲାଙ୍କ ପ୍ରଭାଙ୍କ (Planck's Constant)	$=6.62517 \times 10^{-34}$ ଯୁଲ୍:ସେ
ପରମାଣବୀୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ (Atomic Mass Unit)	$=1.660 \times 10^{-27}$ କି:ଗ୍ରା
ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Neutron)	1.008982 ଅ:ମା:ଇ: $1.67470 \times 10^{-27}$ କି:ଗ୍ରା
ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Proton)	1.007593 ଅ:ମା:ଇ: $1.67239 \times 10^{-27}$ କି:ଗ୍ରା
ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Hydrogen)	1.008142 ଅ:ମା:ଇ:
ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of an Electron)	$5.4876 \times 10^{-4}$ ଅ:ମା:ଇ: $9.1083 \times 10^{-31}$ କି:ଗ୍ରା:
ଡିଉଟେରିୟମ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Deuterium)	2.014735 ଅ:ମା:ଇ:
ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତିର ସମ୍ପର୍କ (Relation between mass and energy)	1. ଅ:ମା:ଇ: $=931.14$ ମି:ଇ:ଭେ: 1 ଗ୍ରାମ୍ $=5.610 \times 10^{26}$ ମି:ଇ:ଭେ: 1 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ $=0.51098$ ମି:ଇ:ଭେ:
ଷ୍ଟିଫାନ ବୋଲ୍‌ତମ୍ୟାନଙ୍କ ପ୍ରଭାଙ୍କ (Stefan Boltzmann's Constant)	$=5.6687 \times 10^{-8}$ ଯୁଲ୍/ମି <sup>2</sup> , ସେ,(°K) <sup>4</sup>
ହ୍ରମାଙ୍କ (Ice point)	$=273.16^\circ \text{K}$



## ପରିଭାଷା

### ଅ

ଅତି ବାଇଗଣୀ—Ultraviolet	
ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ—Half life	
ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ—Semi-conductor	
ଅନନ୍ତ—Infinite	
ଅଣୁଗତି ତତ୍ତ୍ୱ—Kinetic theory	
ଅନୁପାତ—Proportional	
ଅନ୍ତର୍ଦ୍ଧନ—Internal Combustion	
ଅନ୍ତର୍ଦେଶୀ—Penetrating	
ଅନ୍ତରାକ୍ଷ—Space	
ଅନ୍ତରାକ୍ଷ ଅନ୍ୱେଷଣ—Space exploration	
” ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ—Space Physics	
” ଯାନ—Rocket	
ଅପବର୍ଜନ ନିମୂଳ—Exclusion Principle	
ଅପ୍ରଗାମୀ ତରଙ୍ଗ—Standing Wave	
ଅବତଳ—Concave	
ଅବଲୋକିତ—Infrared	
ଅବଶୋଷଣ—Absorb	
ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ରଶ୍ମି	} Continuous X' Ray Spectrum
ରଶ୍ମିର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ	
ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ—Characteristic radiation	
ଅଯୁଗ୍ମ—Odd	

ଅଲଟ୍ରାଭାଇଲେଟ ରଶ୍ମି—Ultraviolet rays

ଅକ୍ଷାଂଶ—Latitude

### ଆ

ଆର୍କ ତାପନ—Arc heating

ଅନୁଭବିକ—Empirical

ଆପେକ୍ଷିକ—Relativity

” ତତ୍ତ୍ୱ—Theory of Relativity

” ଆବେଗ—Specific impulse

” ପରିବେଗ—Relative Velocity

ଆପତ୍ତ—Incident

ଆବୃତ୍ତ—Frequency

ଆଭାସୀ—Apparent

ଆଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ—Internal

ଆବେଶପାତ—Ascending

ଆଲୋକୀୟ ଦୂରତା—Optical Path

ଆୟନ ନୋଦନ—Ion Propulsion

ଆୟନିତ—Ionised

ଆୟନୀକୃତ—Ionisation

ଆୟନୀକରଣ—Ionisation

ଆୟାମ—Amplitude

### ଇ

ଇଥର—Ether

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍—Electron

ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସ୍କ୍ରୋକ—Electron  
detector

ଇରସ୍ତୁତଃ—Random

ଉ

ଉତ୍ସର୍ଜିତ—Emitted

ଉତ୍ସର୍ଜନ—Emission

ଉଚ୍ଚତମ ଅବୃତ୍ତ—Highest  
Frequency

ଉଚ୍ଚତ୍ତମ—Highest

ଉପକକ୍ଷ—Sub shell

ଉପବୃତ୍ତୀୟ—Elliptic

ଏ

ଏକବର୍ଣ୍ଣ ରଶ୍ମିର ରଶ୍ମି—Mono-  
chromatic X-ray

ଏକକ ଆୟତନ—Unit Volume

କ

କୌଣିକ ପରିବେଗ—Angular  
Velocity

„ ପ୍ରବେଗ—Angular  
Momentum

କଣିକା ତତ୍ତ୍ୱ—Particle theory

କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ—Artificial  
disintegration

କେନ୍ଦ୍ରାଭିମୁଖୀ—Centrifugal

„ ସାଘ୍ର—Centripetal

କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ—Central Body

କମ୍ପନ—Vibration

ବୁପରିବାହୀ—Insulator

କ୍ରମିଷ୍ଟନକ ପ୍ରଭାବ—Crompton  
effect

କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ—Work function

କିରଣ ଗୁଚ୍ଛ—Light beam

କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ବିକିରଣ—Blackbody  
radiation

କକ୍ଷ—Orbit

କକ୍ଷ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା—Orbital  
Quantum Number

କ୍ଷ

କ୍ଷୟ—Decay

ଗ

ଗାମା ରଶ୍ମି— $\gamma$  rays

ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ—Grating  
element

ଗାଣିତିକ—Mathematical

ଗତି ତତ୍ତ୍ୱ—Theory of Motion

ଗତି ଶକ୍ତି—Kinetic energy

ଗୋଲକାକାର—Spherical

ଗ

ଗୁମ୍ଫାକ୍ଷେପ—Magnetic field

ଗୁମ୍ଫାକ୍ଷେପ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା—Magnetic  
Quantum Number

„ ଅଭିମୁଖ—Magnetic  
momentum

„ ସ୍ପିନ୍—Magnetic Spin

ତରଫାତରାୟ ଲତ୍ତ—Exponential  
tail

ବୃତ୍ତ ଶୂନ୍ୟ—Neutral

ଛ

ଛନ୍ଦ୍ର ପରିବେଗ—Cut off or burn-  
out Velocity



ପରମ ପରିବେଗ—Absolute Velocity	ବହୁସ୍ତର ରକେଟ—Multistage Rocket
ପାଗ—Weather	ବାହକ—Carrier
ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ—Polarisation	ବ୍ୟାଣ୍ଡ ତତ୍ତ୍ୱ—Band theory
ପରିବେଗ ବିତରଣ—Velocity distribution	ବିକିରଣ—Radiation
ପରିବେଗ—Velocity	ବିକିରିତ—Radiated
ପରିକ୍ରମଣ ପରିବେଗ—Revolational Velocity	ବିଘଟନ—Disintegration
ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ—Reaction force	” ଧ୍ରୁବାଙ୍କ—Constant
ପ୍ରତିଫାଣିତ—Fluorescence	ବ୍ୟତିକରଣପ୍ରାପକ—Interferometer
ପ୍ରତିକ୍ଷେପ—Recoil	ବିଦ୍ୟୁତ ରୁମ୍ଭାକାୟ ତତ୍ତ୍ୱ—Electromagnetic theory
ପ୍ରକାଶିତ—Scattering	” ତରଙ୍ଗ—Electromagnetic Waves
” କୋଣ—Scattering angle	ବିଦ୍ୟୁତ ରୁମ୍ଭାକାୟ—Electromagnetic
ପ୍ରକାଶିତ—Scattered	” ଅପଘଟନ—Electrolysis
ପୃଥକୀକୃତ—Isolated	” ରୁମ୍ଭାକାୟ ପ୍ରେରଣ—Electromagnetic Induction
ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବ—Alternative Potential	” ପରିବହନ—Conduction of electricity
ପ୍ଲାଜମା—Plasma	” ପରିବର୍ଦ୍ଧକ—Current Amplifier
ଫ	
ଫ୍ରିଜ୍ ଶିଫ୍ଟ—Fringe shift	ବିଭବାନ୍ତର—Potential difference
ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା—Fusion reaction	ବିଭବ ଶକ୍ତି—Potential energy
ଫି	
ଫିଜିଆ—Spectrum	ବିଭଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା—Fission reaction
ଫର୍ବିଡ ବ୍ୟାଣ୍ଡ—Forbidden band	ଫିମିତି—Dimension
ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ—Matter waves	ଫିସରଣ—Diffusion
ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା—Mass number	ଫିଶ୍ମ ତାପ—Specific heat
ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି—Binding Energy	ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ—Special Theory of Relativity

ବିରୋଧାଭାସ—Paradox

ବିଘୋର—Disturbance

ବିସ୍ତୃତ ବିବରଣ—Detailed analysis

ବିଶ୍ଳିଷ୍ଟତା—Viscosity

ବିସର୍ଜନ ନଳ—Discharge Tube

ବିଦ୍ୟୁତ୍ତ୍ୱର ପ୍ରତିରୋଧ—Electrical  
resistance

ବିକ୍ଷେପ—Deflection

ବୃଦ୍ଧଚୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ—Bubble chamber

ବସ୍ତୁତ୍ତ୍ୱର କେନ୍ଦ୍ର—Centre of mass

ବିତରଣ—Distributed

ବେଗ—Speed

ବ୍ୟତିକରଣ—Interference

ବିବର୍ତ୍ତନ—Diffraction

ଭ

ଭୂଲମ୍ବ—Vertical

ଭୂସମାନ୍ତର—Horizontal

ଭୌତିକ ଘଟଣାର ନିୟମ—Laws of  
Physical Phenomena

ମ

ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ—Gravitational  
Force

ମାଗ୍ନେଟୋ ପ୍ଲାଜମା—Magneto  
Plasma

ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍—Free electron

ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ—Cloud Chamber

ଯ

ଯଥାର୍ଥତା—Accuracy

ଯୁଗ୍ମ ପଥ—Pair of Tracks

ଯୁଗ୍ମ—Even

ର

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି—X-Rays

ରାସାୟନିକ ଉଦ୍ଭବ—Chemical Fuel

ଲ

ଲମ୍ବ, ବୃତ୍ତୀୟ କୋନ୍—Right  
Circular Cone

ଶ

ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ—Energy band

ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ—Conservation  
of Energy

ଶୂନ୍ୟତା—Vacuum

ସ

ସଂଘଟନ—Collision

ସଂଗ୍ରାହକ ପଲକ—Collector Plate

ସମୀକରଣ—Equation

ସର୍ତ୍ତ—Condition

ସମକୋଣୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି—Rec-  
tangular co-ordinate system

ସମାକଳନ—Integrate

ସର୍ପିଳ—Spiral

ସରଳ ରେଖିକ ପରିବେଗ—Linear Velocity	ସଂଯୋଗୀ ବ୍ୟତିକରଣ—Construc- tive Interference
ସମ୍ଭାବ୍ୟତା—Probability	ପ୍ରସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ—Classical Theory
ସମ୍ଭାବ୍ୟତା ବଣ୍ଟନ—Probability distribution	ସୁପରିବାହୀ—Conductor
ଅବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ—Conservation of momentum	ସ୍ତମ୍ଭ—Column
ଅପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣିତକ—Exact multiple	ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି—Co-ordinate system
ଅବେଗ—Momentum	ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘଠନ—Elastic Collision
ସାନ୍ଦ୍ରତା—Density	ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି—Rest energy

